

Usporedba performansi globalnih satelitskih navigacijskih sustava

Gregorović, Petar

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:211358>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-23**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository](#)



Zagreb, 13. svibnja 2022.

Zavod: **Zavod za aeronautiku**
Predmet: **Zrakoplovna navigacija II**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 6882

Pristupnik: **Petar Gregorović (0135258886)**
Studij: **Aeronautika**
Smjer: **Vojni pilot**

Zadatak: **Usporedba performansi globalnih satelitskih navigacijskih sustava**

Opis zadatka: Uspoređivanje preciznosti izmjerenih pozicija globalnih satelitskih navigacijskih sustava uz pomoć programa Geo++ Rinex Logger, Rinex ON i RTKlib.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

dr. sc. Tomislav Radišić

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

Petar Gregorović

**USPOREDBA PERFORMANSI GLOBALNIH SATELITSKIH
NAVIGACIJSKIH SUSTAVA**

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2022.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

USPOREDBA PERFORMANSI GLOBALNIH SATELITSKIH NAVIGACIJSKIH SUSTAVA

PERFORMANCE COMPARISON OF GLOBAL SATELLITE NAVIGATION SYSTEMS

Mentor: dr. sc. Tomislav Radišić

Student: Petar Gregorović
JMBAG: 0135258886

Zagreb, rujan 2022.

Sažetak

Globalni navigacijski satelitski sustavi (GNSS) su svi sustavi koji koriste satelite za određivanje pozicije. U ovome radu će se testirati sustavi GPS, Galileo, GLONASS i BeiDou kako bi utvrdili koji sustav ima najveću preciznost. Podatke ćemo dobiti pomoću niza mjerenja koja ćemo vršiti uz pomoć GPS čipa pametnog telefona te obraditi pomoću aplikacija Geo++ Rinex Logger, Rinex ON i RTKlib.

Ključne riječi: GNSS, GPS, Galileo, GLONASS, BeiDou, mjerenje

Summary

Global navigation satellite systems (GNSS) are all systems that use satellites for determining position. In this paper GPS, Galileo, GLONASS and BeiDou will be tested to determine which system is most precise. We will get the data using series of measurements which will be done using a smartphone's GPS chip and processed through Geo++ Rinex Logger, Rinex ON and RTKlib applications.

Keywords: GNSS, GPS, Galileo, GLONASS, BeiDou, measurement

Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Zrakoplovna navigacija	2
3. Satelitska navigacija.....	3
3.1. GPS – Global positioning system.....	4
3.1.1. Svemirski segment.....	4
3.1.3. Korisnički segment.....	5
3.2. GLONASS.....	6
3.2.1. Svemirski segment.....	6
3.2.2. Upravljački segment.....	6
3.2.3. Korisnički segment.....	7
3.3. Galileo	8
3.3.1 Svemirski segment.....	8
3.3.2. Zemaljski segment.....	8
3.3.3. Korisnički segment.....	9
3.4. BeiDou	10
3.4.1. Svemirski segment.....	10
3.4.2. Zemaljski segment.....	10
3.4.3. Korisnički segment.....	11
4. RINEX.....	12
5. RTKlib.....	13
5.1. RTKplot.....	13
5.2. RTKconv	14
5.3. RTKpost	14
5.4. RTKnavi	15
5.5. RTKget	15
6. Geo++ RINEX Logger i RINEX On	16
7. Prikupljanje i obrada podataka	19
7.1. Mjerenje stacionarne pozicije na otvorenom prostoru	19
7.2. Mjerenje zaklonjene pozicije.....	19
7.3. Mjerenje u pokretu	20
7.4. Obrada podataka.....	21
8. Analiza podataka	23
8.1. Mjerenje stacionarne pozicije na otvorenom području.....	23
8.2. Mjerenje zaklonjene pozicije.....	26
8.3. Mjerenje u pokretu	30
9. Zaključak.....	39
Popis slika	41

1. Uvod

Globalni navigacijski satelitski sustavi su postali dio naše svakodnevice. Njima se koriste gotovo svi, od ljudi koji traže svoju lokaciju pa sve do brodova, zrakoplova te raketa za navigaciju po Zemlji. Današnji svijet je postao ovisan o tim sustavima. Stoga se nastoji performanse tih sustava dovesti do savršenstva. Ovaj rad će se bazirati na testiranju i usporedbi performansi sustava GPS, GLONASS, Galileo i BeiDou te pokušati ustanoviti koji sustav ima najmanja odstupanja, odnosno koji prikazuje najveću preciznost.

Rad je podijeljen na devet cjelina:

- Uvod
- Zrakoplovna navigacija
- Satelitska navigacija
- RINEX
- RTKlib
- Geo++ RINEX Logger i Rinex ON
- Prikupljanje i obrada podataka
- Analiza podataka
- Zaključak

U drugom poglavlju je objašnjen pojam zrakoplovne navigacije, u trećem poglavlju su opisani satelitski sustavi GPS, GLONASS, Galileo i BeiDou te njihova upotreba u svrhu navigacije. U četvrtom poglavlju su objašnjenje aplikacije koje su korištene za mjerenje preciznosti navedenih satelitskih sustava. U petom poglavlju je opisan program koji je korišten za analiziranje prikupljenih podataka, u šestom poglavlju su objašnjeni programi koje smo koristili za prikupljanje podataka. U iduća dva poglavlja objašnjen je način prikupljanja podataka te obrada i usporedba istih.

2. Zrakoplovna navigacija

„Navigacija (lat. *navigatio*: plovidba, vožnja), tehnika i vještina vođenja plovila, zračne ili svemirske letjelice iz polazišta u odredište najpovoljnijim putem.“ [1]

Zrakoplovna navigacija nije samo vođenje zrakoplova između dvije točke već se sastoji od kontinuiranog praćenja i ispravljanja grešaka vođenja zrakoplova uz održavanje određenog stupnja sigurnosti. Stoga, zrakoplovna navigacija je „znanstvena disciplina koja s teorijskog i praktičnog stajališta proučava i primjenjuje metode pripreme leta, određivanja pozicija te vođenja zrakoplova tijekom leta od jedne poznate pozicije do druge poznate pozicije na zemljinoj površini u prostorno-vremenskoj dimenziji.“ [2] Njome se koriste svi zrakoplovi kako bi što brže i efikasnije prešli zadani put. Prateći razvoj zrakoplovstva, način navigacije je također unaprijeđen. Današnji zrakoplovi se koriste sustavima koji vode zrakoplov pomoću velikog broja satelita te uz puno veću preciznost nego što je to čovjek proračunima u letu mogao pratiti.

Zrakoplovna navigacija se dijeli na dvije glavne kategorije: vizualnu i instrumentalnu zrakoplovnu navigaciju. Vizualna navigacija podrazumijeva određivanje pozicije uz vizualni kontakt sa tlom te je obavezno zadovoljavanje VFR (Visual Flight Rules) uvjeta. Instrumentalna navigacija podrazumijeva određivanje pozicije pomoću radionavigacijskih sredstava na zemlji i instrumenata u zrakoplovu koji će prikazati podatke tih sredstava. Instrumentalna navigacija se leti u IFR (Instrumental Flight Rules)

Satelitska navigacija, detaljnije objašnjena u trećem poglavlju, je jedna od potkategorija instrumentalne navigacije. Koristeći satelitsko pozicioniranje zrakoplovi mogu točno odrediti svoju trenutnu poziciju i parametre leta te ih mogu preciznije održavati što pospješuje točniji dolazak na krajnju točku rute te općenito pospješuje preciznost i sigurnost leta. Daljnjim razvijanjem satelitskih sustava povećava se njihova preciznost i pouzdanost te njihova implementacija u svakoj grani zrakoplovstva.

3. Satelitska navigacija

Satelitska navigacija je oblik navigacije koji koristi satelite za određivanje položaja. Sateliti odašilju radiosignale pomoću kojih prijammnik računa udaljenost između sebe i satelita. Pozicija se određuje mjerenjem vremena koje je potrebno signalu da prijeđe udaljenost između satelita i prijammnika. Brzina signala je jednaka brzini svjetlosti. Povećavanjem broja satelita povećavamo preciznost izmjerene pozicije. Obradom signala već od tri satelita možemo dobiti relativno precizno izmjerenu lokaciju prijammnika. Preciznost mjerenja također ovisi o točnosti sata koji se nalazi unutar satelita, atmosferskim uvjetima te preciznosti sata koji se nalazi u prijammniku.

Sustav koji nam omogućava globalnu pokrivenost se naziva Globalni Navigacijski Satelitski Sustav (GNSS). Sustav koristi sve dostupne satelite na trenutnoj lokaciji neovisno kojoj državi pripadaju.

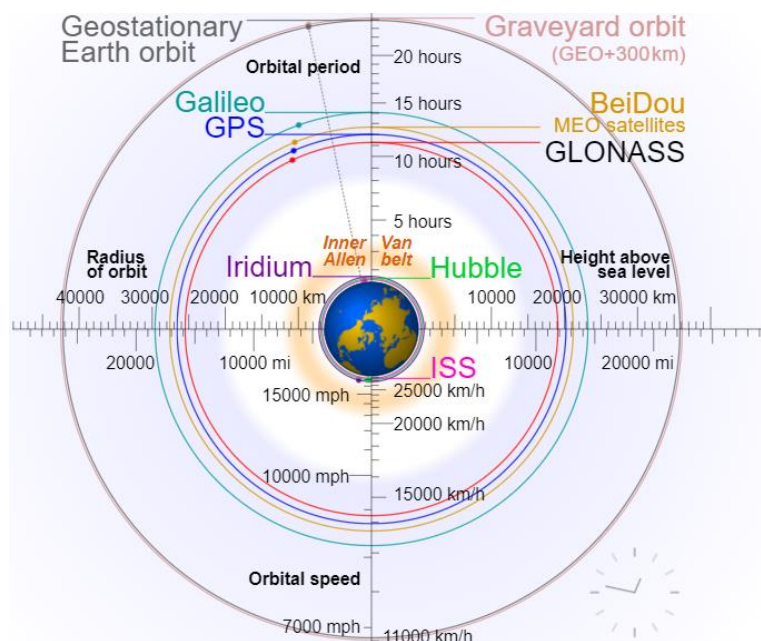
Performanse GNSS sustava se procjenjuju na temelju 4 kriterija:

- Preciznost – razlika između stvarne pozicije, brzine i vremena kod primatelja
- Integritet – mogućnost sistema da omogući prag povjerenja i, u slučaju nepravilnosti u pružanju podataka, omogući upozorenje
- Kontinuitet – sposobnost neprekidnog rada sustava
- Dostupnost – postotak vremena tokom kojega je sustav ispunjavao gore navedene kriterije [3]

Danas postoje 4 globalna satelitska sustava. To su:

- GPS
- GLONASS
- Galileo
- BeiDou

Slika 2. prikazuje orbitalni period (gore), brzinu satelita (dolje), radijus orbite (lijevo) te visinu iznad srednje razine mora (desno) pojedinih satelitskih sustava.



Slika 1. Prikaz orbita satelitskih ustava

Gore navedeni sustavi su korišteni za mjerenje, odnosno njihove će se performanse uspoređivati.

3.1. GPS – Global positioning system

„GPS je američki satelitski navigacijski sustav koji pomoću stalnog odašiljanja signala sa satelita prema prijemniku na Zemlji određuje položaj. Sateliti GPS-a odašilju signale na dvije prijenosne frekvencije. Postupkom modulacije informacijski signali utiskuju se u prijenosne signale tako da se dobivaju dva modulirana vala, L1 i L2. Satelitski signal moduliran je tako da prijammnik može razlikovati emitiranje signala sa svakog satelita posebno i tako provoditi mjerenja.“[4] Unutar tih signala se nalaze informacije o stanju satelita te udaljenosti satelita od prijammnika pomoću kojih se određuje trenutni položaj prijammnika u prostoru.

GPS se sastoji od 3 segmenta:

- Svemirski segment
- Upravljački segment
- Korisnički segment

3.1.1. Svemirski segment

Svemirski segment, prikazan na slici 3, čine 24 satelita koji se nalaze u 6 orbita, sa 4 satelita u svakoj, na visini od 20 200 km što spada u srednju Zemljinu orbitu (MEO – medium Earth orbit). Pojedinom satelitu je potrebno oko 12 sati kako bi izvršio puni okret oko Zemlje i stoga satelit izvrši 2 kruženja u periodu od jednog dana. [5]

Svaki satelit odašilje jedinstven pseudoslučajni kod koji se sastoji od 3 dijela. C/A kod (Course/Aquisition code) koji služi za grubo mjerenje pozicije, P kod (Precise, protected code) koji je pristupačan samo određenim korisnicima i D kod (Data code) koji služi za prijenos podataka. [6]



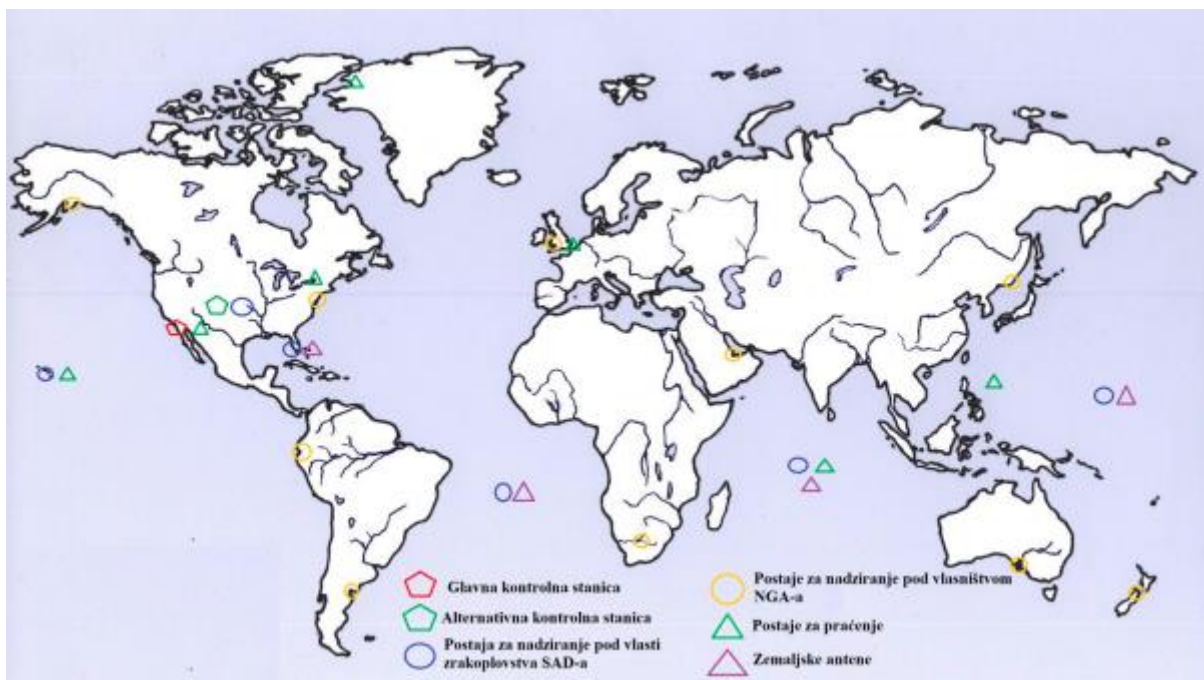
Slika 2. Položaj orbita GPS satelita

3.1.2. Upravljački segment

GPS je upravljani s pomoću sustava zemaljskih stanica raspoređenih po cijeloj Zemlji. Upravljački dio se sastoji od glavne kontrolne postaje, ostale prateće postaje i zemaljske kontrolne stanice. Glavna postaja se nalazi u Colorado Springsu (SAD).[4]

Stanice zaprimaju podatke te ih obrađuju i ispravljaju ako ima potrebe te iz glavne postaje preko antena na zemlji šalju satelitima korekcijske podatke koje je potrebno implementirati kako bi budući odaslani signali bili što precizniji.

Slika 4. prikazuje zemaljsku infrastrukturu GPS-a, odnosno dijelove upravljačkog segmenta.



Slika 3. Zemaljska infrastruktura GPS sustava

3.1.3. Korisnički segment

Korisnički segment se sastoji od prijamnika koji pripadaju korisnicima. Prijamnici služe za prihvaćanje i dekodiranje signala u kojima se nalaze podaci o udaljenosti i navigacijske poruke. Za određivanje pozicije u prostoru potrebna su barem 4 vidljiva satelita.

Postoje dvije kategorije korisnika:

- Autorizirani – američka vojska i posebne državne službe
- Neautorizirani – svi ostali korisnici [4]

3.2. GLONASS

GLONASS je satelitski navigacijski sustav kojeg je razvio Sovjetski savez kao suparnika američkom GPS-u. GLONASS se također sastoji od 3 segmenta (svemirski, zemaljski i korisnički) kao i GPS, sa razlikom u broju orbita na kojima se sateliti nalaze; GPS – 4 orbite, GLONASS – 3 orbite.

3.2.1. Svemirski segment

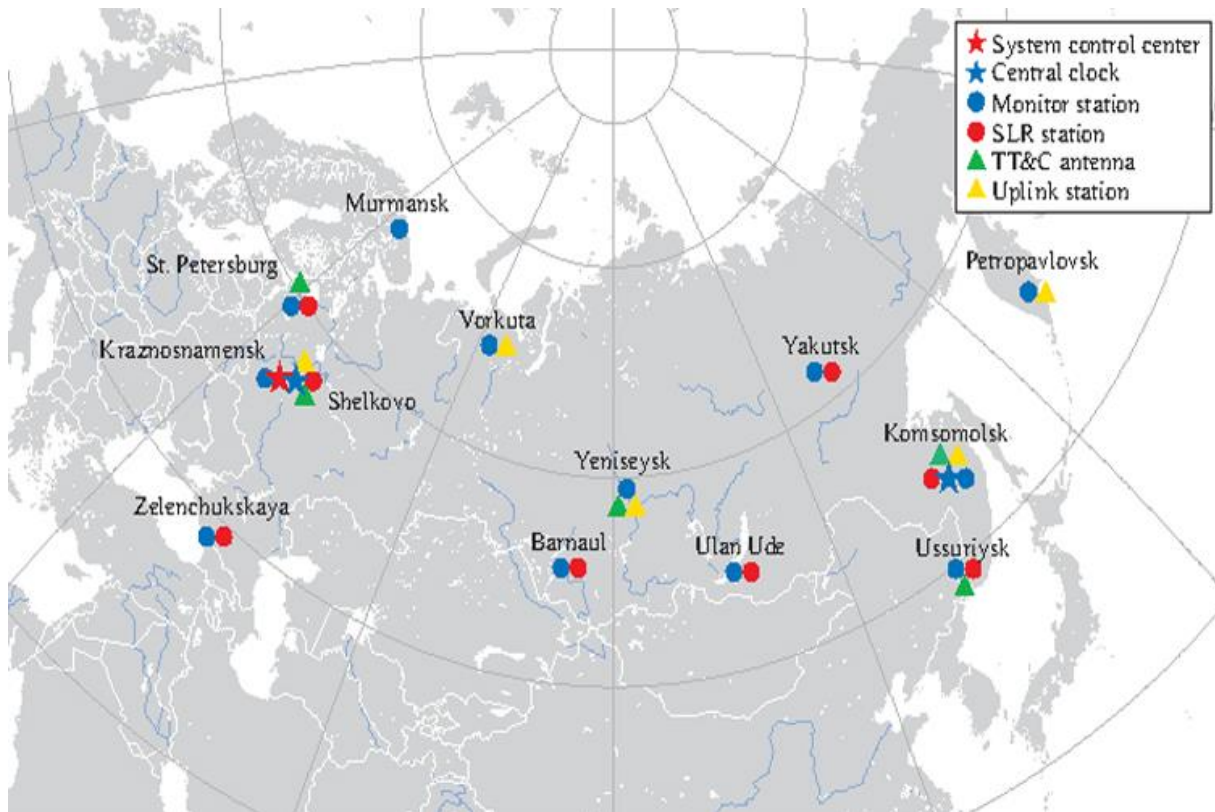
GLONASS svemirski segment se sastoji od 24 satelita u 3 orbitalne ravnine koje su razmaknute za 120° . Sateliti se nalaze na visini od 19 100 km u orbitama inklinacije 64.8° i svaki satelit ima orbitalni period u trajanju od 11 sati i 15 minuta.[7] Položaj orbita GLONASS-a je takav kako bi sustav mogao pružiti bolju pokrivenost blizu polova zbog geografskog položaja Sovjetskog Saveza. Stoga GLONASS pruža veću preciznost blizu polova od GPS-a.



Slika 4. Položaj orbita GLONASS satelita

3.2.2. Upravljački segment

GLONASS zemaljski segment je odgovoran za održavanje pravilnog rada sustava. Poput GPS-a, i GLONASS-ov upravljački segment prati status satelita, prima i ispravlja podatke te ispravljene podatke šalje nazad satelitu preko zemaljske infrastrukture. Kontrolni centar se nalazi u Krasnoznamensku. Za razliku od GPS-a, GLONASS-ova infrastruktura se nalazi isključivo na području bivšeg Sovjetskog Saveza kao što je vidljivo na slici 6.



Slika 5. Zemaljski segment GLONASS sustava

3.2.3. Korisnički segment

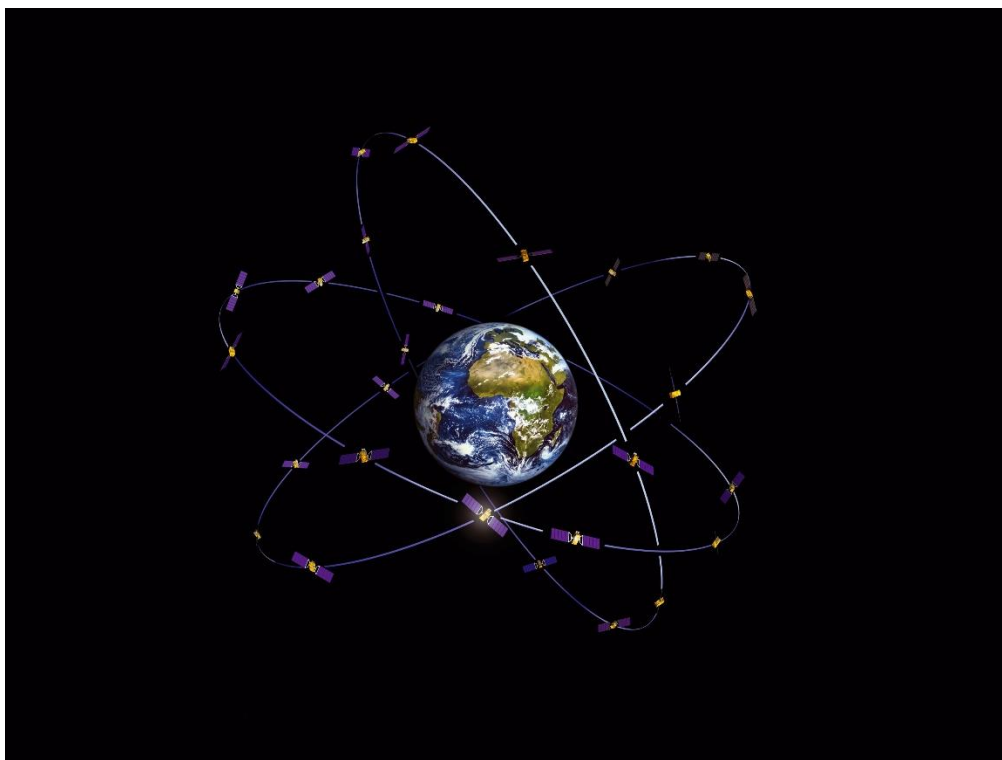
Korisnički segment GLONASS-a se sastoji od radioprijamnika i antena koje primaju signal sa satelita, određuju pseudoudaljenost (udaljenost bez ispravljanja greške sata prijamnika) i proračunavaju navigacijske jednadžbe kako bi odredili koordinate i točan prikaz vremena. [8] GLONASS sustav, iako pruža pokrivenost gotovo cijelog planeta, nije ni približno korišten u komercijalne svrhe poput GPS sustava.

3.3. Galileo

Galileo je satelitski sustav za određivanje pozicije koji je neovisan, ali interoperabilan, o GPS-u i GLONASS-u kojeg je razvila Europska Unija. Za razliku od navedenih sustava koji su razvijeni za vojne upotrebe, Galileo je primarno razvijen za civilnu upotrebu. Stoga, u slučaju vojnih konflikta, preciznost Galileo sustava se neće mijenjati, dok države vlasnice ostalih sustava mogu smanjiti preciznost svojih sustava ili ga u potpunosti isključiti za javno korištenje. Galileo se također sastoji od 3 segmenta: svemirski, zemaljski i korisnički.

3.3.1 Svemirski segment

Galileo sustav se sastoji od 30 satelita, od kojih su 6 pričuvnih, raspoređenih u 3 orbite s inklinacijom od 56° te na visini od 23 222 km. U slučaju otkaza jednog od 24 satelita, pričuvni satelit se pomiče na istu orbitalnu ravninu kako bi umanjio utjecaj nedostatka jednog satelita. [9]



Slika 6. Položaj orbita Galileo satelita

3.3.2. Zemaljski segment

Zemaljski segment Galileo sustava se sastoji od 2 kontrolna centra koji ispravljaju greške na satelitima koje smanjuju preciznost, globalne mreže stanica koje primaju te odašilju signale nazad prema satelitima koji ih zatim implementiraju. [10] Zemaljski segment je sličnog uređenja kao i GPS i GLONASS.



Slika 7. Zemaljski segment Galileo sustava

3.3.3. Korisnički segment

Kao i sustavi prije, Galileo također koristi radioprijamnike, koji se nalaze u pametnim telefonima, autima te zrakoplovima, za određivanje pseudoudaljenosti i računanje navigacijskih jednadžbi za određivanje pozicije.

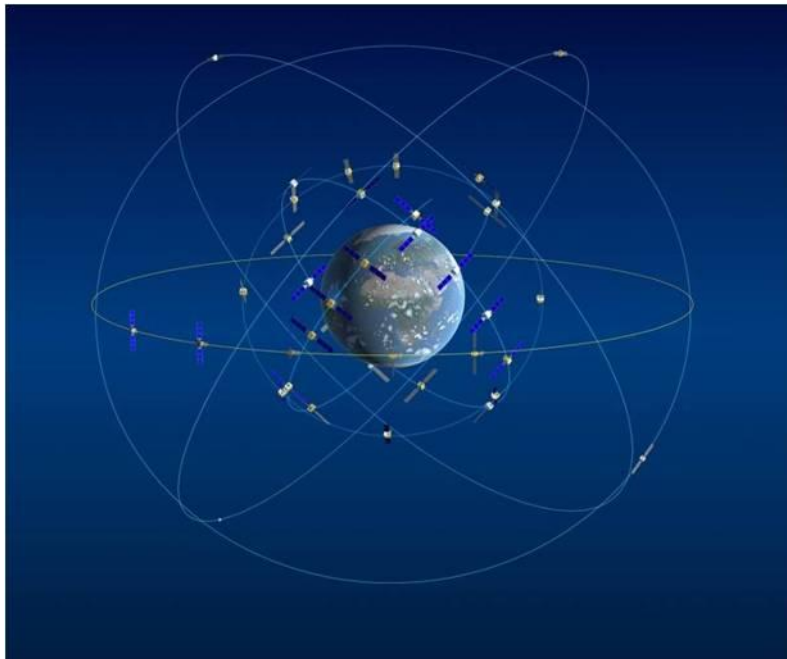
3.4. BeiDou

BeiDou navigacijski satelitski sustav (BDS) je sustav neovisno izrađen i upravljani od strane Kine u svrhu nacionalne sigurnosti te socijalnog i ekonomskog razvoja. Razvoj BDS je tekao u 3 faze: BDS-1 je početkom 21. stoljeća pružao informacije isključivo na području Kine, BDS-2 je izgrađen krajem 2012. godine i njegova namjena je bila pružanje informacija na području Azije, dok BDS-3 koji je u uporabi od 2020. godine pruža informacije diljem Zemlje. [11]

BDS pruža vrlo precizno određivanje pozicije svim korisnicima globalno u svim vremenskim uvjetima u bilo koje vrijeme. Od početka uporabe BDS je široko korišten u svijetu; od transporta i agrikulture do komunikacija i javne sigurnosti pružajući zapanjujuće ekonomske i socijalne benefite. [12]

3.4.1. Svemirski segment

BeiDou svemirski segment se sastoji od 35 satelita od kojih se 5 satelita nalazi u geostacionarnoj Zemljinoj orbiti i 30 satelita raspoređenih u 3 orbite koji se nalaze u srednjoj Zemljinoj orbiti.



Slika 8. Položaj orbita BeiDou satelita

3.4.2. Zemaljski segment

BeiDou zemaljski segment je zaslužen za primanje i obradu signala sa satelita te njihovu korekciju ukoliko je to potrebno kako bi održavali visoki stupanj preciznosti.

BeiDou zemaljski segment se sastoji od 3 dijela:

- Glavne kontrolne stanice: odgovorna za upravljanje satelitima i obradom podataka mjerenja dobivenih od strane stanice za motrenje te stvaranje navigacijske poruke
- Stanice za prijenos podataka: odgovorna za prijenos podataka o ispravku orbite i navigacijske poruke BeiDou satelitima
- Stanice za motrenje: odgovorne za prikupljanje podataka svih satelita koji su trenutno vidljivi te stanice

3.4.3. Korisnički segment

BeiDou korisnički segment se sastoji od BDS terminala koji određuju pseudoudaljenost te proračunavaju trenutnu korisničku poziciju. BeiDou sustav se koristi u autima kineske proizvodnje, ribarstvu i SAR (Search and Rescue) službama.

4. RINEX

RINEX (Receiver INdependent EXchange format) je format koji sadrži sirove podatke satelitskih navigacijskih sistema zaprimljenih tokom određenog perioda. Korisnik ima mogućnost korekcije podataka pri obrađivanju kako bi sam mogao poboljšati preciznost.

Potreba za RINEX formatom je uočena tokom EUREF89 kampanje unutar koje je sudjelovalo 60 satelita od 4 različita proizvođača. Podaci svih satelita bi se izmjerili pojedinačno te je bio potreban format koji će olakšati razmjenu podataka između satelita svih vrsta. Prva verzija RINEX formata je razvijena 1989. godine, zatim je RINEX 2 razvijen 1993. godine koji dopušta spremanje podataka o pseudoudaljenosti, trajanju signala odnosno šumova i ostalih informacija od sustava GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou i drugih. Zadnja verzija je RINEX 3 omogućava prijama i zapis podataka sa novijih generacija satelita.

RINEX 3 verzije se sastoje od 3 ASCII datoteke:

- Datoteka podataka promatranja
- Datoteka podataka navigacijske poruke
- Datoteka meteoroloških podataka

Datoteka podataka promatranja u sebi sadrži C/A kod, P kod, L1 i L2 odnosno vrijeme, fazu i udaljenost. Datoteka navigacijskih poruka sadrži informacije satelitskog sata dok meteorološka datoteka sadrži podatke o temperaturi, pritisku, vlazi itd. [13]

```
ssssdddf.yyt
| | | |
| | | | +-- t: file type:
| | | | O: Observation file
| | | | N: GPS navigation message file
| | | | M: Meteorological data file
| | | | G: GLONASS navigation message file
| | | | L: Galileo navigation message file
| | | | P: Mixed GNSS navigation message file
| | | | H: SBAS Payload navigation message file
| | | | B: SBAS broadcast data file
| | | | (separate documentation)
| | | | C: Clock file (separate documentation)
| | | | S: Summary file (used e.g., by IGS, not a standard!)
| | | +--- YY: two-digit year
| | +----- f: file sequence number/character within day.
| +----- ddd: day of the year of first record or Julian day
+----- SSSS: 4-character station name designator or station id
```

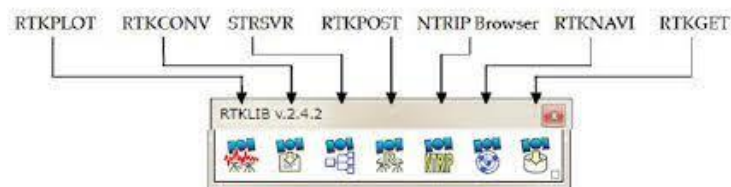
Slika 9. Izgled RINEX datoteke

5. RTKlib

RTKlib je softver otvorenog koda koji se koristi za precizno određivanje pozicije uz pomoć globalnih navigacijskih sustava. RTKlib podržava algoritme svih globalnih navigacijskih sustava kao što su GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, QZSS, SBAS. [14] Program također podržava nekoliko modova pozicioniranja: kinematično, statično, jednostruko te još mnoštvo drugih.

Verzija programa RTKlib korištena u ovom radu je 2.4.3 b34 izdana 29.12.2020. Zip datoteku je potrebno preuzeti te ju je nakon toga potrebno raspakirati. Nakon raspakiravanja program se pokreće preko aplikacije „rtklaunch“ koja sadrži niz funkcija poput:

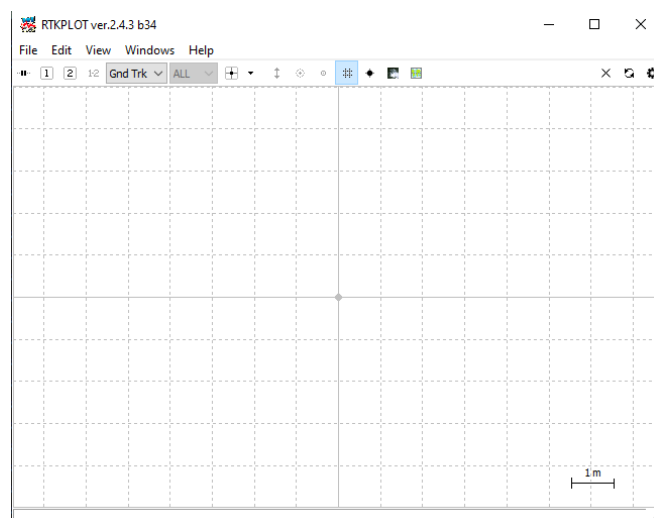
- RTKplot
- RTKconv
- STRSVR
- RTKpost
- NTRIP Browser
- RTKnavi
- RTKget



Slika 10. Funkcije RTKlib programa

5.1. RTKplot

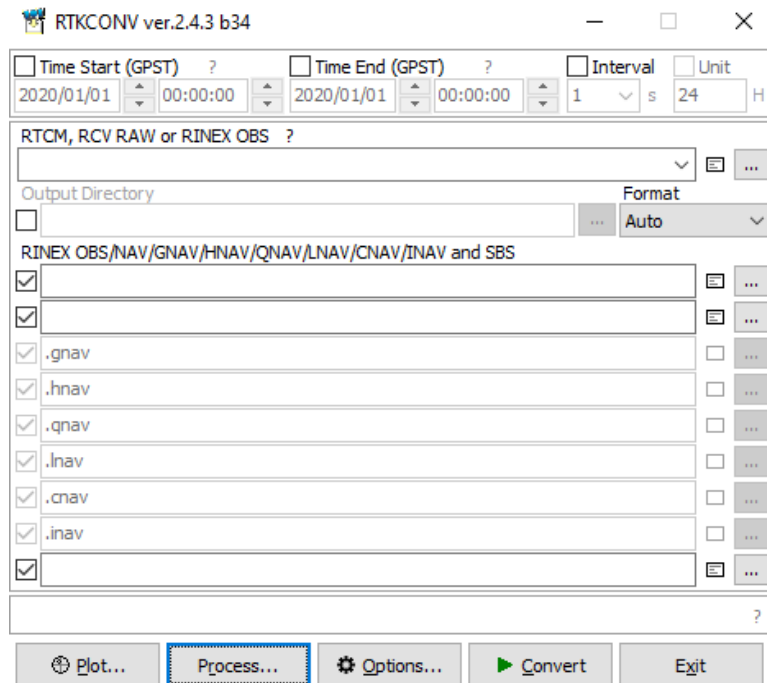
RTKplot omogućava grafički prikaz podataka dobivenih od strane RTKnavi i RTKpost. Funkcija „Plot“ u bilo kojem RTKlib programu otvara RTKplot te prikazuje zadane podatke u njemu. Program dopušta korištenje slika preuzetih sa Google Maps i Google Earth aplikacija koje zatim postavlja na pozadinu. [15]



Slika 11. Prikaz izgleda programa RTKplot

5.2. RTKconv

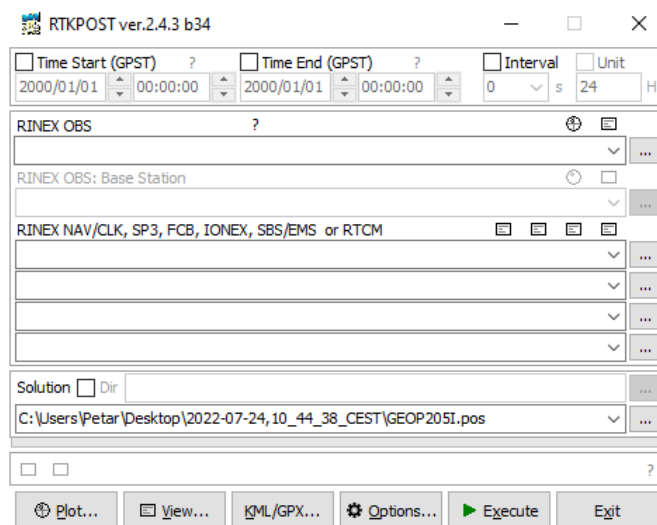
RTKconv program se koristi za pretvaranje drugih formata za zapisivanje GNSS podataka u RINEX format. Također, RTKconv može iz neobrađenih podataka GNSS-a izvući SBAS poruku i spremiti u odvojenu datoteku. [15]



Slika 12. Prikaz izgleda programa RTKconv

5.3. RTKpost

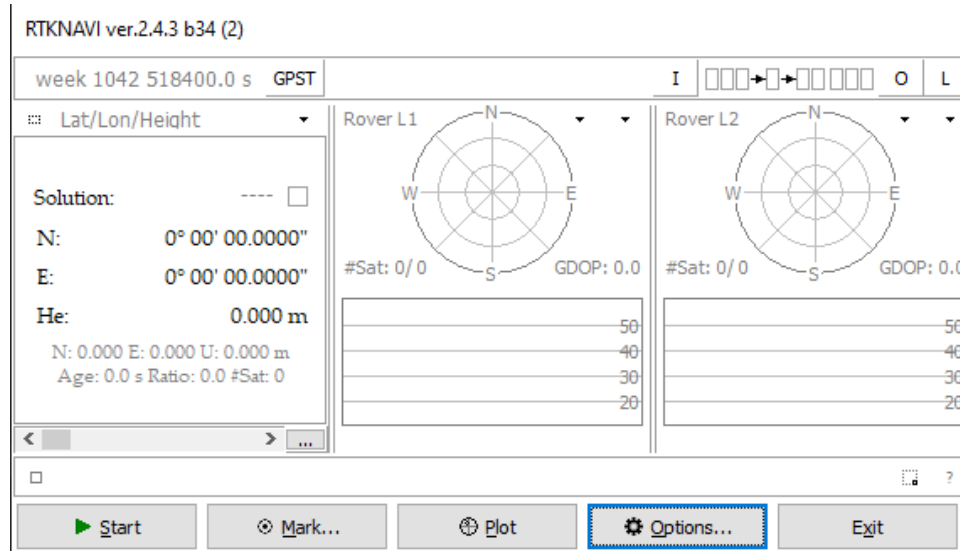
RTKpost program služi za naknadnu obradu podatka dobivenih različitim mjerenjima. Program dobivene podatke od GNSS prijammnika u RINEX formatu obrađuje zavisno od moda u kojem su snimani, bilo u „kinematic“ ili „static“. [15]



Slika 13. Prikaz izgleda programa RTKpost

5.4. RTKnavi

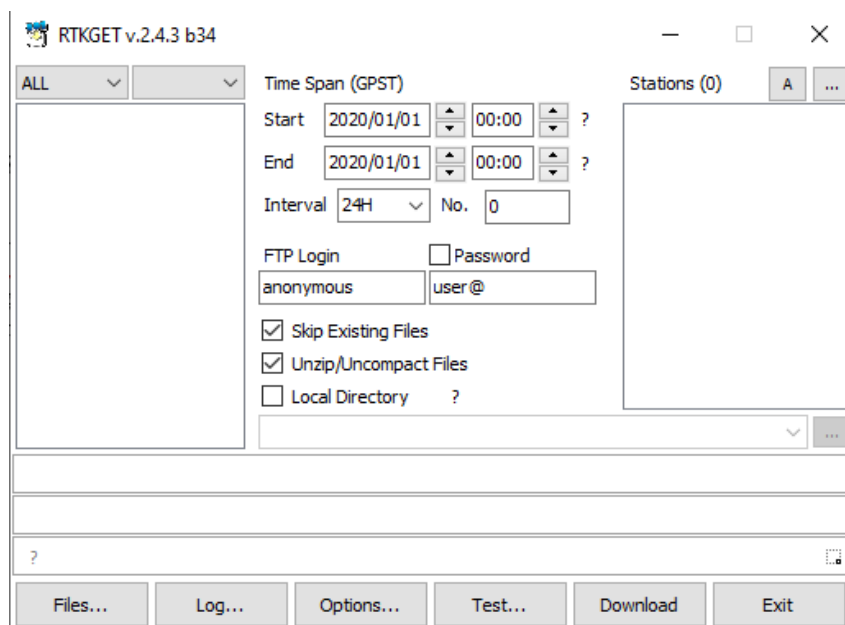
RTKnavi program omogućava pozicioniranje u stvarnom vremenu koristeći neobrađene podatke GNSS prijmnika. [15]



Slika 14. Prikaz izgleda programa RTKnavi

5.5. RTKget

Za analizu precizno pozicioniranih točaka (PPP), često bi trebali preuzeti IGS (International GNSS service) precizne GNSS proizvode poput satelitskih orbita i informacija njihovih satova. U drugim slučajevima su nam potrebni podaci referentnih stanica koje kontinuirano rade. Za preuzimanje tih GNSS podataka, RTKlib pruža korisno GUI preuzimanje aplikacije RTKget u verziji 2.4.2.[15]



Slika 15. Prikaz izgleda programa RTKget

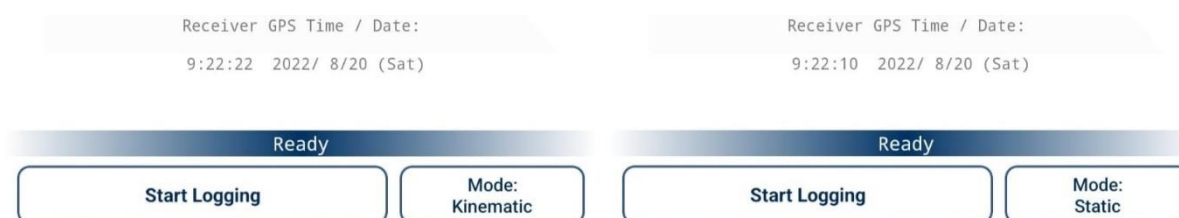
6. Geo++ RINEX Logger i RINEX On

Geo++ RINEX Logger je aplikacija za pametne telefone koja služi za prikupljanje sirovih podataka GNSS-a u RINEX formatu. Aplikacija prikuplja podatke od satelitskih sustava poput:

- GPS
- GLONASS
- Galileo
- BeiDou
- QZSS (japanski satelitski sustav)

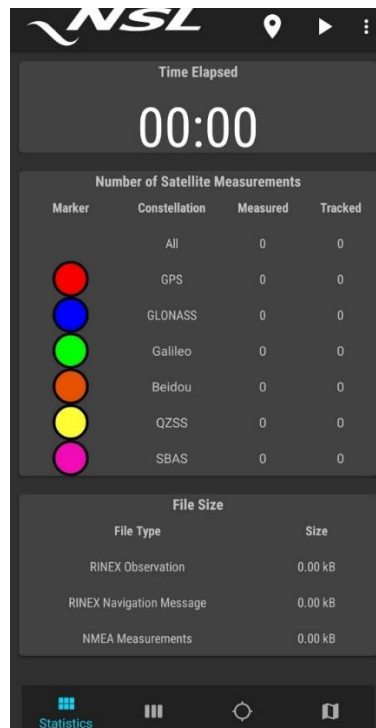
QZSS neće biti u sastavu ovog rada pošto je regionalni sustav te pruža podatke isključivo na području Istočne Azije, odnosno Japana, te Australije i Oceanije.

Geo++ RINEX Logger ima dva moda prikupljanja podataka: Static, koji se koristi dok je telefon statičan, i Kinematic, koji se koristi dok je telefon u pokretu.



Slika 16. Prikaz modova Geo++ RINEX Logger aplikacije

RINEX On je program koji služi za spremanje navigacijske poruke satelitskih sustava. Zbog nemogućnosti dobivanja podataka navigacijske poruke za sve sustave pomoću aplikacije iskoristit ćemo baznu stanicu za dobivanje navigacijske poruke koja je potrebna za određivanje lokacije pametnog telefona



Slika 17. Prikaz sučelja Rinex ON aplikacije

Najbliža bazna stanica koja generira podatke za sustave koji se uspoređuju se nalazi u Medici, Italija naziva MEDI00ITA.



Slika 18. Bazna stanica u Medici

Podaci bazne stanice su javni i mogu se preuzeti s interneta pomoću poveznice <https://igs.bkg.bund.de/searchRINEX>. Potrebno je poznavati kodno ime stanice kako bi mogli pronaći njene podatke u bazi podataka. Nakon odabiranja stanice odabiremo tip podataka koji tražimo, u ovom slučaju navigacijski, period u kojem su podaci prikupljeni, korišteni su podaci svakog sata, RINEX verziju 3 te datume između kojih nas zanimaju podaci kako bismo suzili pretraživanje. Nakon pretraživanja označavamo datoteke u traženom vremenskom intervalu u kojem se vršilo mjerenje te ih preuzimamo u .zip formatu. Potom ih raspakiramo te smo ih spremni koristiti u programu za obradu.

The screenshot shows the IGS RINEX search interface. On the left, there are filters for GNSS Stations, File Type, File Period, RINEX Version, Data Source, Start Date, and End Date. The main area displays a table of search results for station MEDI00ITA.

Name	Start Date	Version	Size
<input checked="" type="checkbox"/> MEDI00ITA_R_20222341900_01H_30S_MO.crx.gz	2022-08-22T19:00:00Z	3.03	0.09M
<input checked="" type="checkbox"/> MEDI00ITA_R_20222341800_01H_30S_MO.crx.gz	2022-08-22T18:00:00Z	3.03	0.09M
<input type="checkbox"/> MEDI00ITA_R_20222341700_01H_30S_MO.crx.gz	2022-08-22T17:00:00Z	3.03	0.08M
<input type="checkbox"/> MEDI00ITA_R_20222341600_01H_30S_MO.crx.gz	2022-08-22T16:00:00Z	3.03	0.09M
<input type="checkbox"/> MEDI00ITA_R_20222341500_01H_30S_MO.crx.gz	2022-08-22T15:00:00Z	3.03	0.09M
<input type="checkbox"/> MEDI00ITA_R_20222341400_01H_30S_MO.crx.gz	2022-08-22T14:00:00Z	3.03	0.09M
<input type="checkbox"/> MEDI00ITA_R_20222341300_01H_30S_MO.crx.gz	2022-08-22T13:00:00Z	3.03	0.09M
<input type="checkbox"/> MEDI00ITA_R_20222341200_01H_30S_MO.crx.gz	2022-08-22T12:00:00Z	3.03	0.08M
<input type="checkbox"/> MEDI00ITA_R_20222341100_01H_30S_MO.crx.gz	2022-08-22T11:00:00Z	3.03	0.09M
<input type="checkbox"/> MEDI00ITA_R_20222341000_01H_30S_MO.crx.gz	2022-08-22T10:00:00Z	3.03	0.10M
<input type="checkbox"/> MEDI00ITA_R_20222340900_01H_30S_MO.crx.gz	2022-08-22T09:00:00Z	3.03	0.10M
<input type="checkbox"/> MEDI00ITA_R_20222340800_01H_30S_MO.crx.gz	2022-08-22T08:00:00Z	3.03	0.09M
<input type="checkbox"/> MEDI00ITA_R_20222340700_01H_30S_MO.crx.gz	2022-08-22T07:00:00Z	3.03	0.10M
<input type="checkbox"/> MEDI00ITA_R_20222340600_01H_30S_MO.crx.gz	2022-08-22T06:00:00Z	3.03	0.10M
<input type="checkbox"/> MEDI00ITA_R_20222340500_01H_30S_MO.crx.gz	2022-08-22T05:00:00Z	3.03	0.09M
<input type="checkbox"/> MEDI00ITA_R_20222340400_01H_30S_MO.crx.gz	2022-08-22T04:00:00Z	3.03	0.09M
<input type="checkbox"/> MEDI00ITA_R_20222340300_01H_30S_MO.crx.gz	2022-08-22T03:00:00Z	3.03	0.08M
<input type="checkbox"/> MEDI00ITA_R_20222340200_01H_30S_MO.crx.gz	2022-08-22T02:00:00Z	3.03	0.09M
<input type="checkbox"/> MEDI00ITA_R_20222340100_01H_30S_MO.crx.gz	2022-08-22T01:00:00Z	3.03	0.09M
<input type="checkbox"/> MEDI00ITA_R_20222340000_01H_30S_MO.crx.gz	2022-08-22T00:00:00Z	3.03	0.09M

Slika 19. Podaci bazne stanice

7. Prikupljanje i obrada podataka

Mjerenja u radu su obavljena u vremenskom periodu između 15 i 30 minuta ovisno o načinu mjerenja. Sva mjerenja su obavljena tokom povoljnih meteoroloških uvjeta pomoću pametnog telefona na točno određenoj poziciji na tlu koja će služiti kao referentna pozicija za provođenje mjerenja.

U ovome radu mjerenja stacionarnih pozicija će se biti obavljena na 3 načina:

- Mjerenje na otvorenom prostoru
- Mjerenje u zaklonjenom prostoru
- Mjerenje u pokretu

7.1. Mjerenje stacionarne pozicije na otvorenom prostoru

Mjerenje na otvorenom prostoru se vrši kako bi testirali performanse satelita u idealnim uvjetima koje će služiti kao referenca za ostala dva mjerenja. Usporedbom ćemo moći odrediti stupanj degradacije preciznosti pojedinih sustava nakon uvođenja prepreka koje ometaju putanju signala. U ovom mjerenju pametni telefon je postavljen na mol kao što je prikazano na slici 21. te je mjerenje vršeno u periodu od 30 minuta uz kontinuirano provjeravanje svakih 5 minuta.



Slika 20. Mjerenje stacionarne pozicije na otvorenom prostoru

7.2. Mjerenje zaklonjene pozicije

U ovom mjerenju pametni telefon je postavljen na rub lođe zgrade na 2. katu zgrade prikazane na slici 22. koja se nalazi u centru mjesta Pirovac. Pomoću ovog mjerenja ćemo odrediti kako signal od satelita, koji je u prošlom mjerenju imao direktnu putanju do mobitela, nakon zaklanjanja utječe na preciznost. Signal od satelita koji su zaklonjeni će i dalje uspjeti doći do

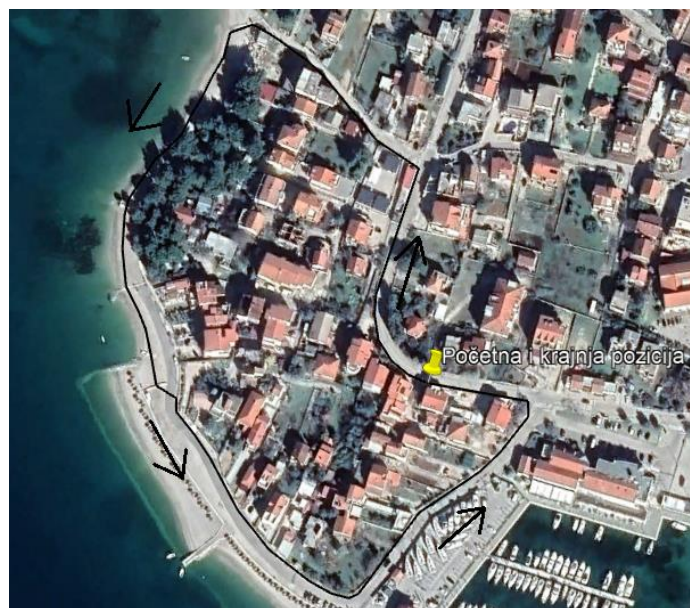
pametnog telefona pomoću refleksije od okolnih kuća i reljefa općenito. Mjerenje će se odvijati u periodu od 20 minuta uz kontinuirano provjeravanje pametnog telefona svakih 5 minuta.



Slika 21. Mjerenje zaklonjene pozicije

7.3. Mjerenje u pokretu

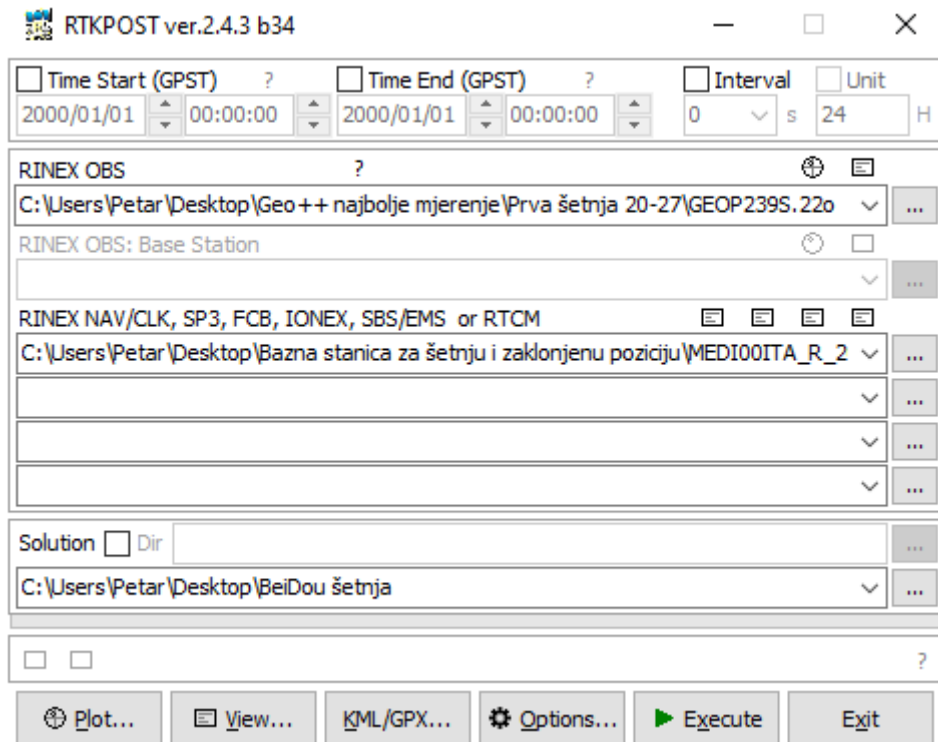
Mjerenje u pokretu je odrađeno držeći pametni telefon na dlanu okrenut licem prema gore sa upaljenim zaslonom kroz cijelo mjerenje. Meteorološka situacija je bila povoljna i mjerenje je odrađeno za 17 minuta. Ruta je kružna i iznosi 905 m (slika 23.) te prolazi između kuća i pokraj plaže kako bi mogli usporediti performanse tokom zaklonjenog dijela rute i otvorenog. Mobitel smo 1 minutu prije početka i nakon završetka ostavili na istoj poziciji kako bi se osigurala točnost pozicije.



Slika 22. Ruta za mjerenje u pokretu

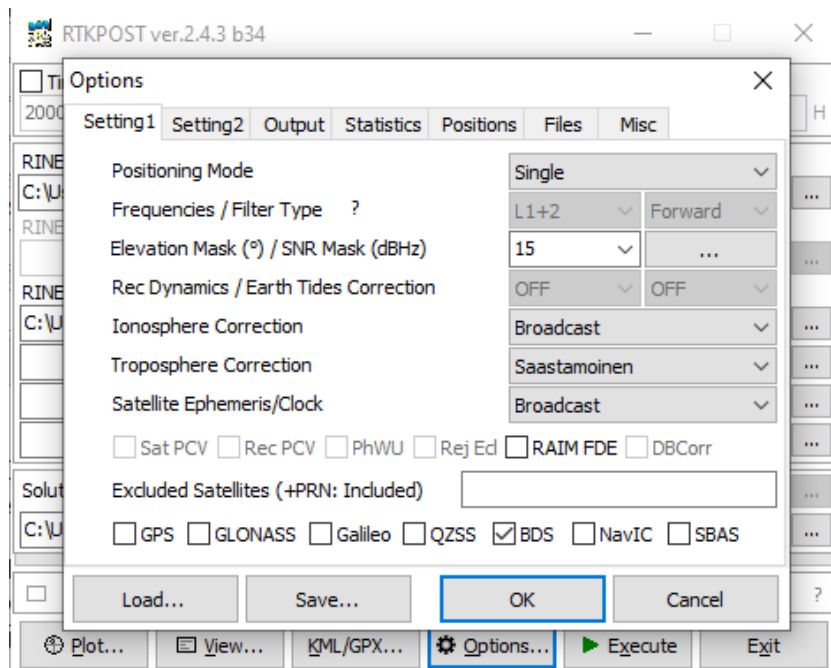
7.4. Obrada podataka

Podatke koje smo prikupili od sva tri mjerenja sada ubacujemo u program RTKlib, točnije u program RTKpost zajedno sa podacima bazne stanice kako bi ih obradili i dobili mjerene pozicije pametnog telefona (slika 24.).



Slika 23. RTKpost sučelje

Pod „RINEX OBS“ ubacujemo podatke koje smo izmjerili pomoću pametnog telefona, a pod „RINEX NAV/CLK, SP3, FCB, IONEX, SBS/EMS or RTCM“ ubacujemo podatke sa bazne stanice koji odgovaraju vremenu u kojem se vršilo mjerenje telefonom. Potom u „Options“ odabiremo koji satelitski sustav želimo obraditi (slika 25.) te pritisnemo tipku „Execute“ kako bismo započeli obradu podataka. Nakon obrade ulazimo u izbornik „KML/GPX“ kako bi prebacili mjerenje u format koji je moguće otvoriti u aplikaciji Google Earth u kojoj ćemo vršiti analizu podataka.



Slika 24. Odabir satelitskog sustava

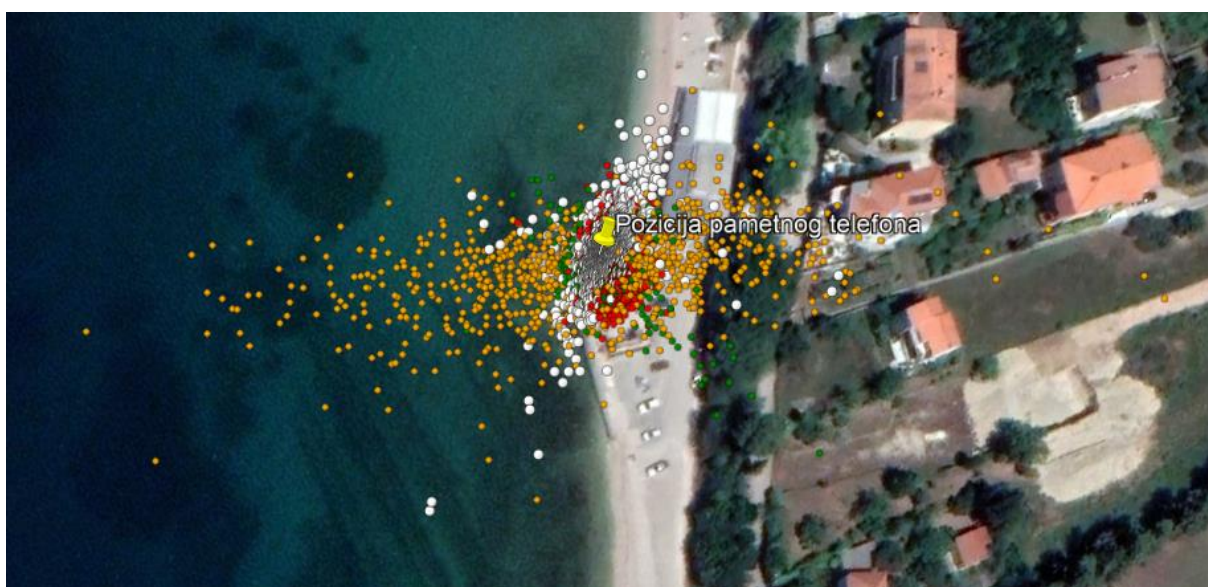
8. Analiza podataka

Nakon što smo obradili podatke u programu RTKpost razvrstavamo ih u 3 skupine: mjerenje stacionarne pozicije, mjerenje u zaklonjenom prostoru i mjerenje u pokretu.

Tokom mjerenja svi sustavi su normalno funkcionirali, jedino Galileo sustavu treba po par minuta nakon otvaranja programa da pronađe vidljive satelite i uspostavi vezu s njima. U svakom od mjerenja veza je uspostavljena sa svakim vidljivim satelitom svih sustava.

8.1. Mjerenje stacionarne pozicije na otvorenom području

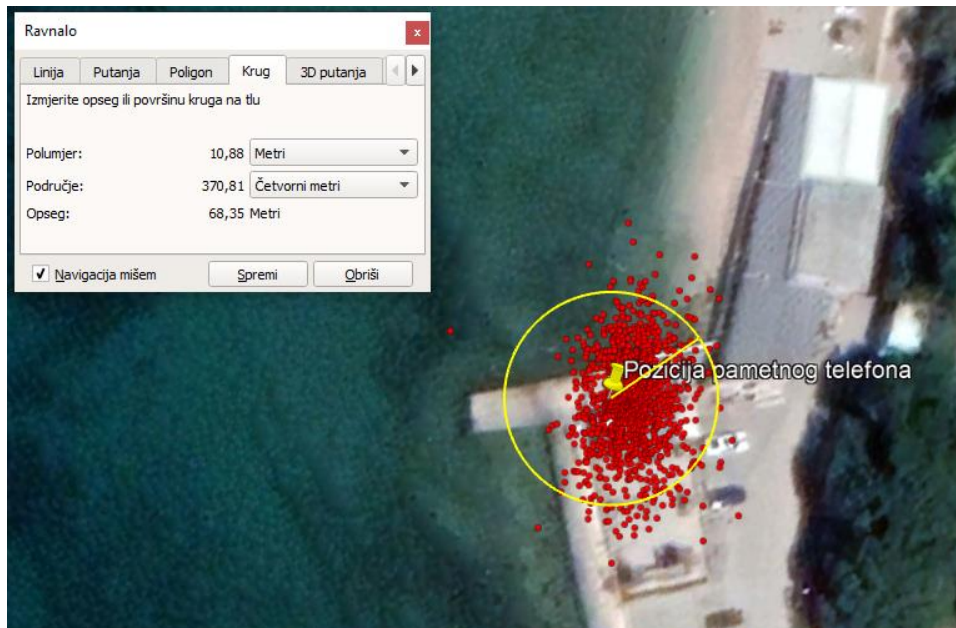
Mjerenje je vršeno više puta i izabrano je ono mjerenje koje je dalo preciznije rezultate. Na slici 26. prikazana su mjerenja sva 4 sustava. Crvene točkice predstavljaju GPS, zelene Galileo, bijele BeiDou i narančaste GLONASS. Na slici je vidljivo da je GLONASS sustav najmanje pouzdan za mjerenje pozicije. GLONASS i BeiDou su dali rezultate u obliku linije, dok su GPS i Galileo dali rezultate kružnog oblika. Svi sustavi osim GLONASS-a signale pouzdano grupiraju oko pozicije pametnog telefona.



Slika 25. Rezultati sva četiri sustava

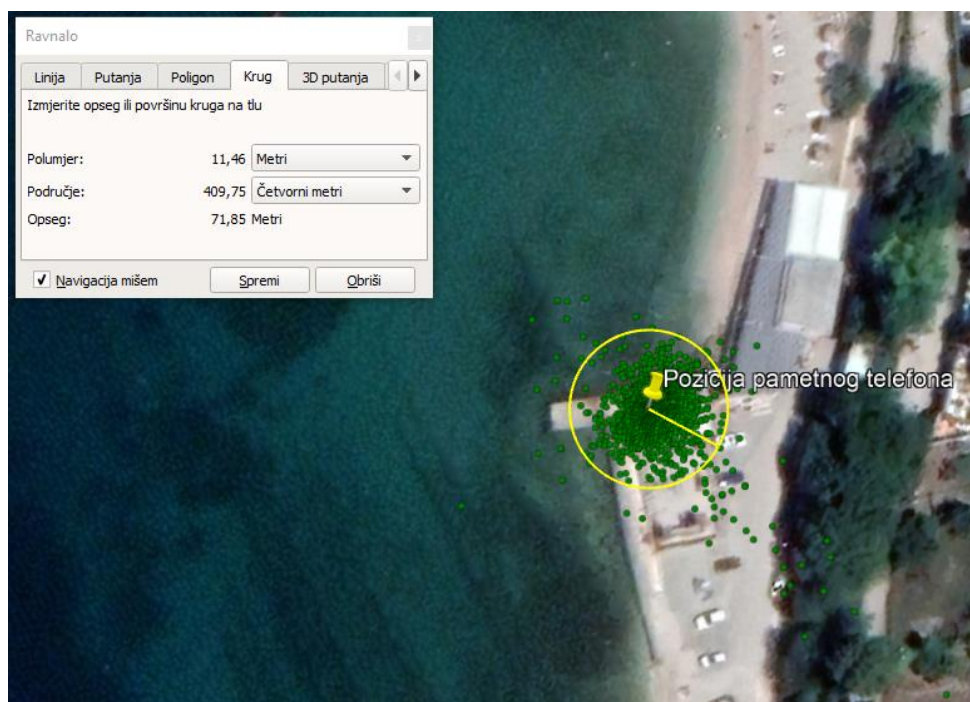
Na iduće četiri slike su prikazani svaki sustav posebno te unutar kojeg radijusa se nalazi većina lokacija.

Kao što je prikazano na slici 27. GPS sustav ima najveću preciznost. Većina izmjerenih pozicija se nalazi unutar radijusa od 10.88 metara. Najudaljenija pozicija se nalazi 18 metara od pozicije telefona.



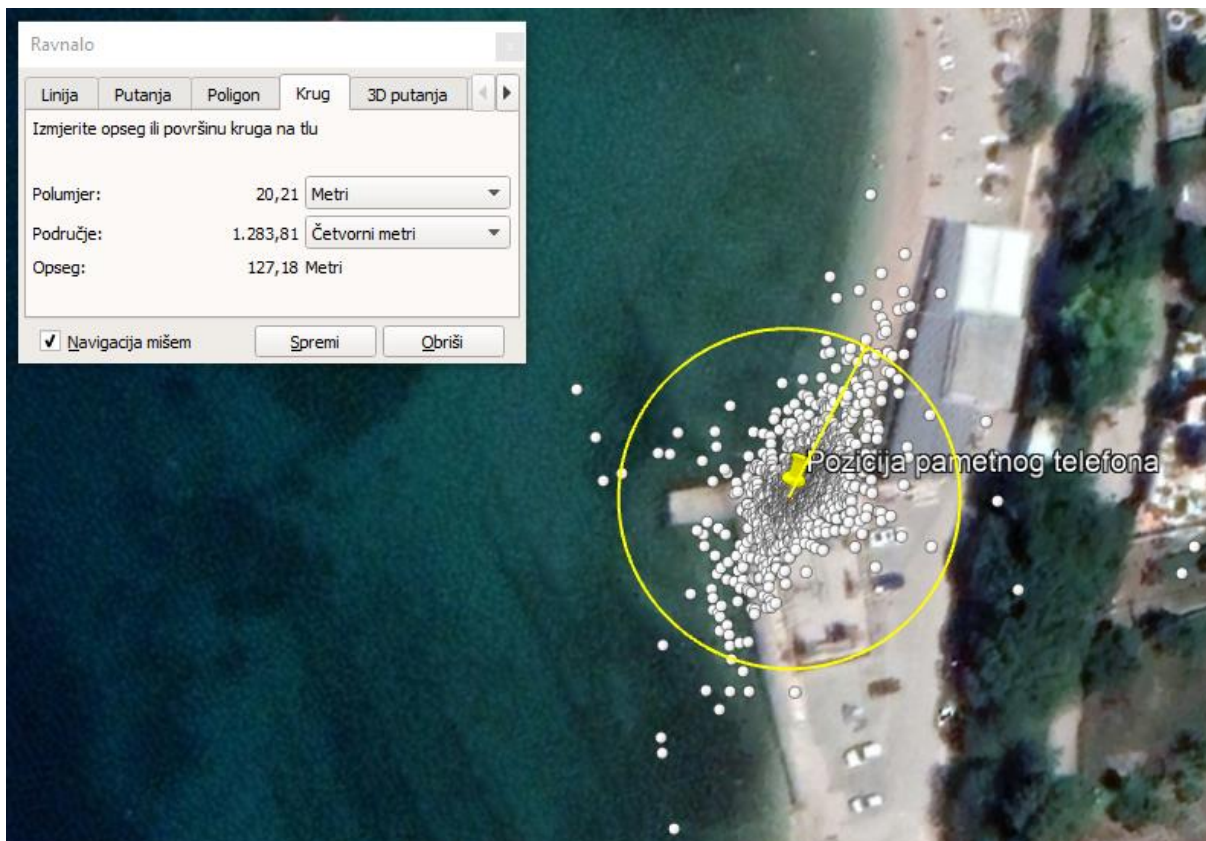
Slika 26. Radijus GPS-a

Galileo sustav je jako blizu GPS sustava što se tiče veličine radijusa unutar kojega se nalazi većina izmjerenih pozicija. Što se tiče najdalje izmjerene pozicije tu GPS ima prednost kao što je vidljivo uspoređujući slike 27. i 28. Najudaljenija pozicija se nalazi 59 metara od pozicije telefona.



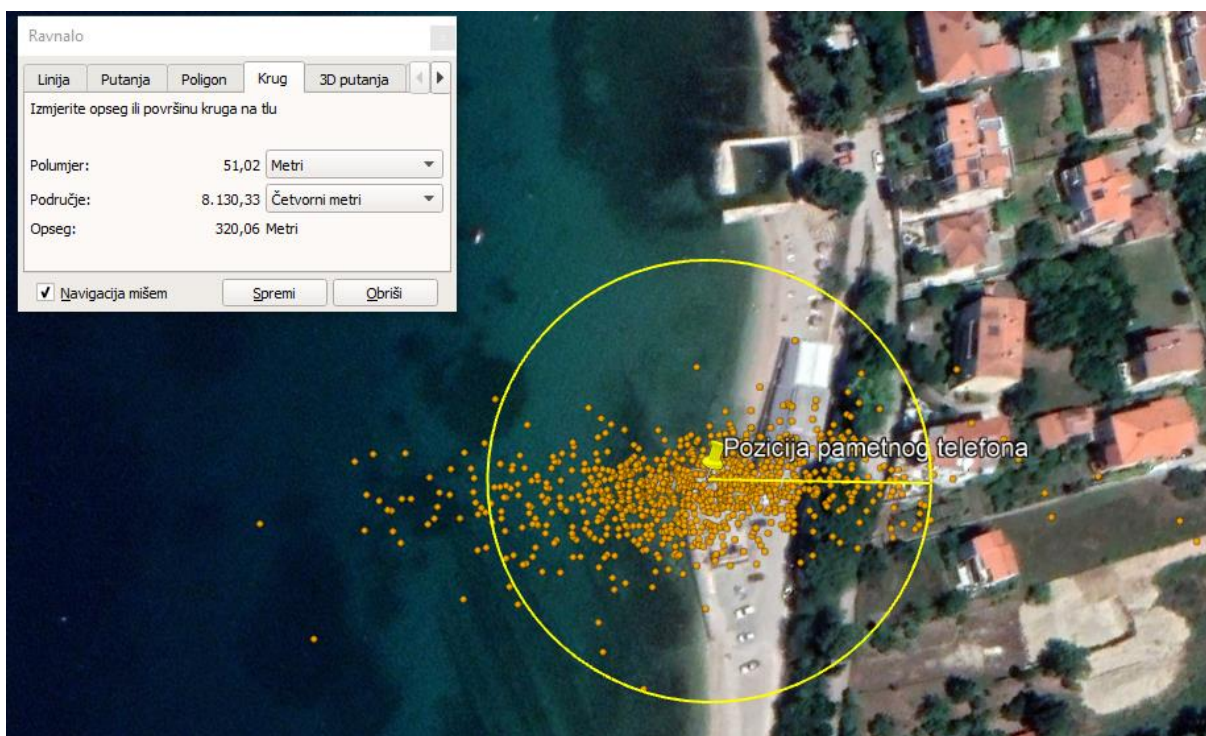
Slika 27. Radijus Galileo

Nakon GPS-a i Galilea dolazi BeiDou sustav sa radijusom od 20,21 metar. Iako je radijus za 9 metara veći od Galileovog najudaljenija izmjerena pozicija im je unutar 3 metra razlike. BeiDou sustav je također pozicije odredio u obliku linije što dovodi do većeg rasipanja za razliku od kružnog oblika. Najudaljenija pozicija se nalazi 62 metra od pozicije telefona.



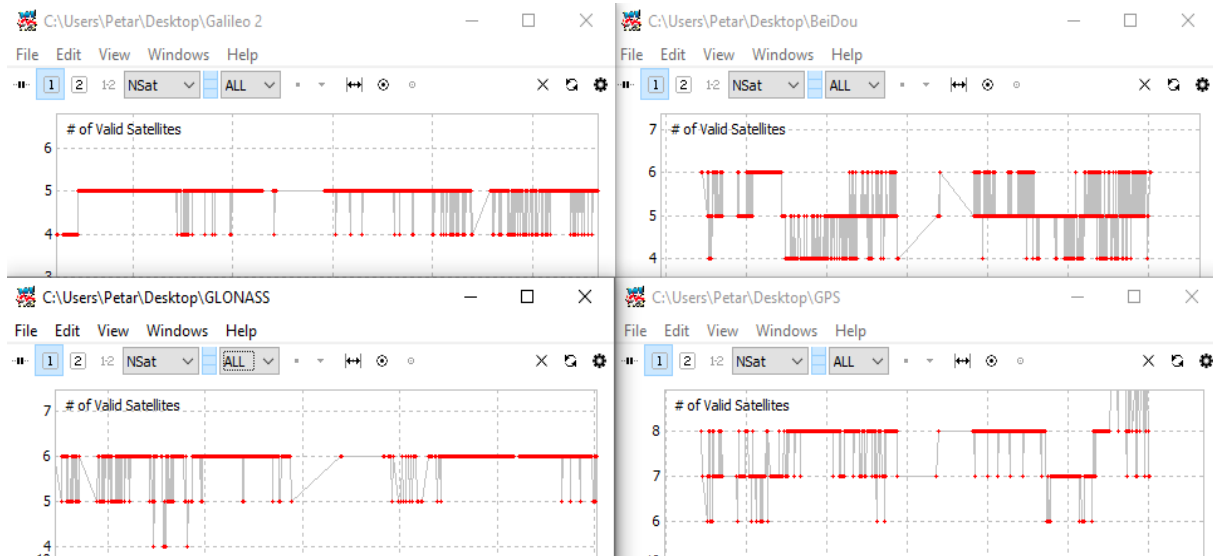
Slika 28. Radijus BeiDou

Na zadnjem mjestu što se tiče preciznosti dolazi GLONASS sustav sa radijusom od čak 51 metar. Također uočavamo linijski oblik pozicija kao i na BeiDou sustavu. Najudaljenija pozicija se nalazi 111 metara od pozicije telefona.



Slika 29. Radijus GLONASS

Na slici 31. je prikazano koliko je satelita bilo raspoloživo za svaki sustav tokom mjerenja. Vidimo da je GPS sustav u prosjeku koristio 8 satelita za utvrđivanje pozicije uz skokove između 6, 7 i 10, GLONASS je u prosjeku koristio 6, Galileo je koristio 5 uz često padanje na 4 satelita, dok BeiDou koristi između 4 i 6 satelita. Drastičan pad broja satelita se dogodio zbog nejasne greške u aplikaciji zbog koje se prekine povezivanje sa satelitima na određeno vrijeme.



Slika 30. Prikaz povezanosti aplikacije sa satelitima

U tablici su prikazani RMSE (Root Mean Square Error) za svaki od satelitskih sustava za statičko mjerenje

Tablica RMS za statičko mjerenje

		GPS	Galileo	BeiDou	GLONASS
RMS	Sjeverno-južno	4.8238 m	4.2672 m	7.3422 m	13.2738 m
	Zapadno-istočno	3.0888 m	4.9046 m	4.1498 m	22.9701 m
	Gore-dolje	8.0431 m	18.6005 m	11.9665 m	35.0781 m
	2D	11.4561 m	13.0022 m	16.8676 m	53.0592 m

Podaci iz tablice su izvađeni iz RTKplot programa. Podatke ćemo prikazati ulaganjem u postavke programa i prebacimo postavu „Show statistics“ sa OFF na ON. Nakon toga će nam se u gornjem desnom kutu prikazati potrebni podaci.

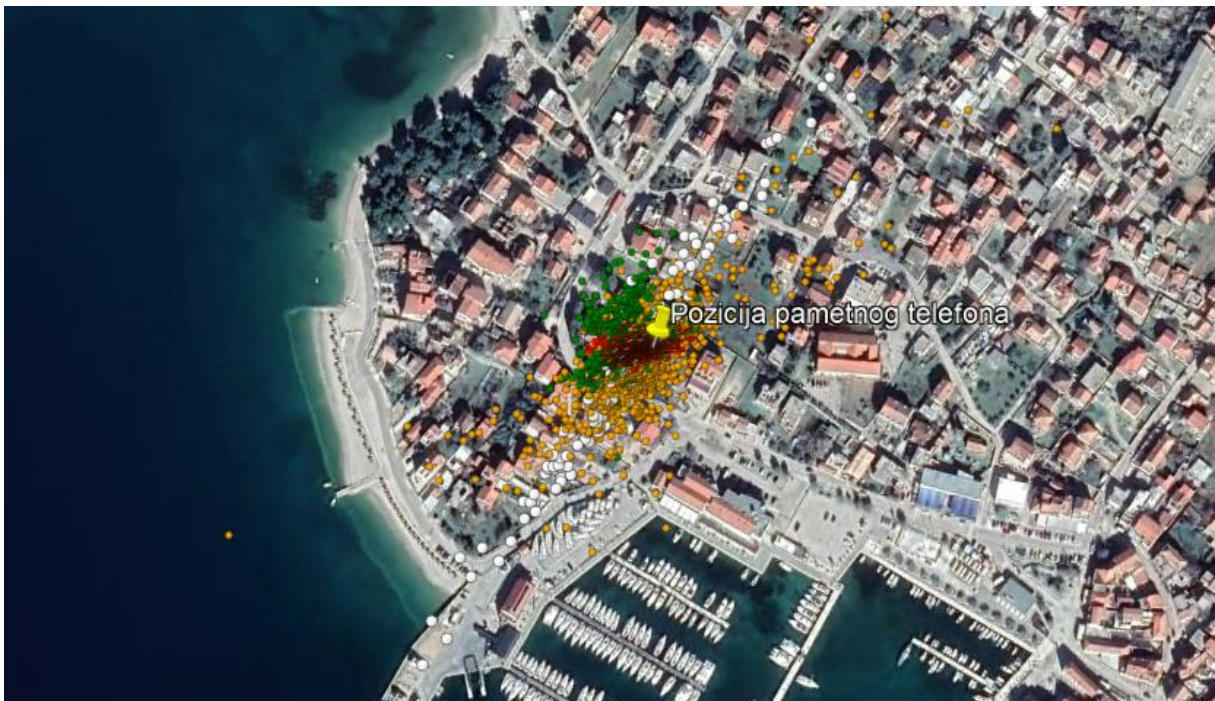
8.2. Mjerenje zaklonjene pozicije

Mjerenje je izvršeno četiri puta pošto u prva dva mjerenja nije došlo do povezivanja sa više od 2 satelita zbog lošeg pozicioniranja pametnog telefona. Za ostala mjerenja mobitel je postavljen na zidić lođe sa slike 32. kako bi se uspio povezati sa većim brojem satelita. U ovom mjerenju će biti prikazana razlika sustava kada se uzme u obzir refleksija valova i zaklon pod kojim se nalazi telefon.



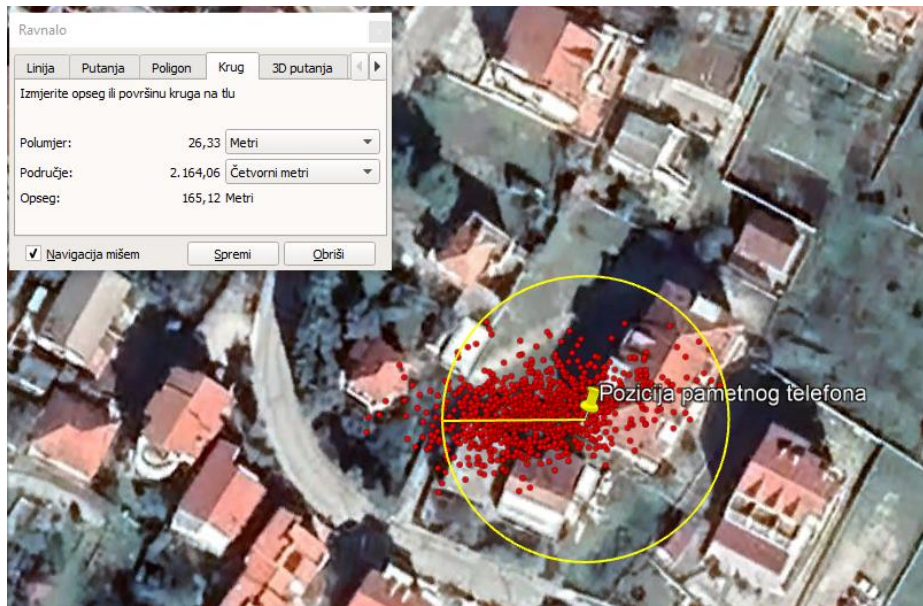
Slika 31. Zaklonjena pozicija za mjerenje

Na slici 33. su vidljive izmjerene pozicije svakog od sustava (crveni – GPS, narančasti - GLONASS, zeleni – Galileo, bijeli – BeiDou) te je vidljivo da je većina izmjerenih pozicija izmaknuta od stvarne pozicije pametnog telefona. Na to je utjecala refleksija signala i sama zaklonjenost pametnog telefona. Ponovno primjećujemo tendenciju GLONASS i BeiDou sustava prema linijskom rasporedu pozicija te GPS i Galileo sustav prema kružnom rasporedu.



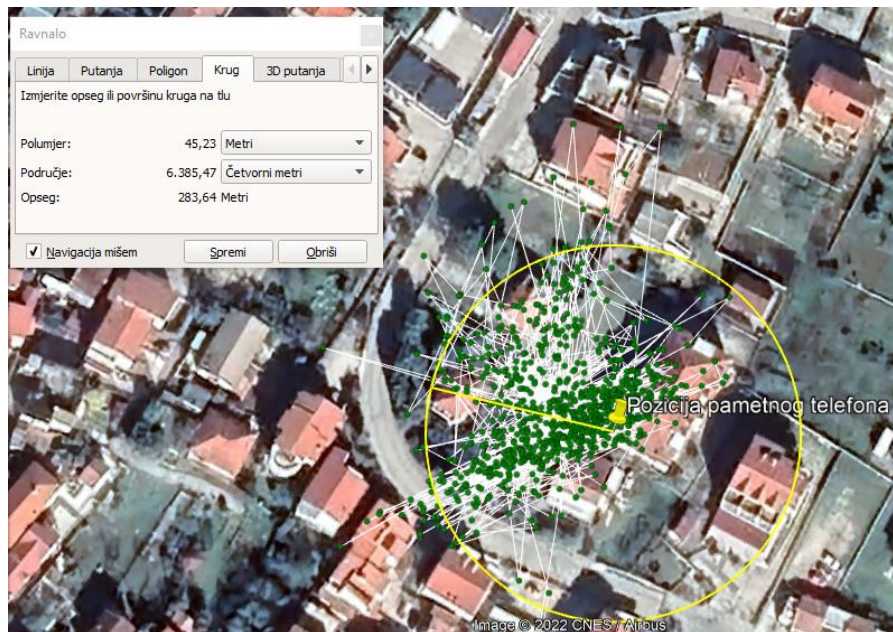
Slika 32. Mjerenje zaklonjene pozicije

GPS sustav je pokazao najveću preciznost i najmanje rasipanje iako su izmjerene pozicije većinom bile na otvorenom parkiralištu pokraj zgrade. Većina izmjerenih pozicija se nalazi unutar radijusa od 26 metara (slika 34.). Najveće odstupanje od stvarne pozicije je 41 metar.



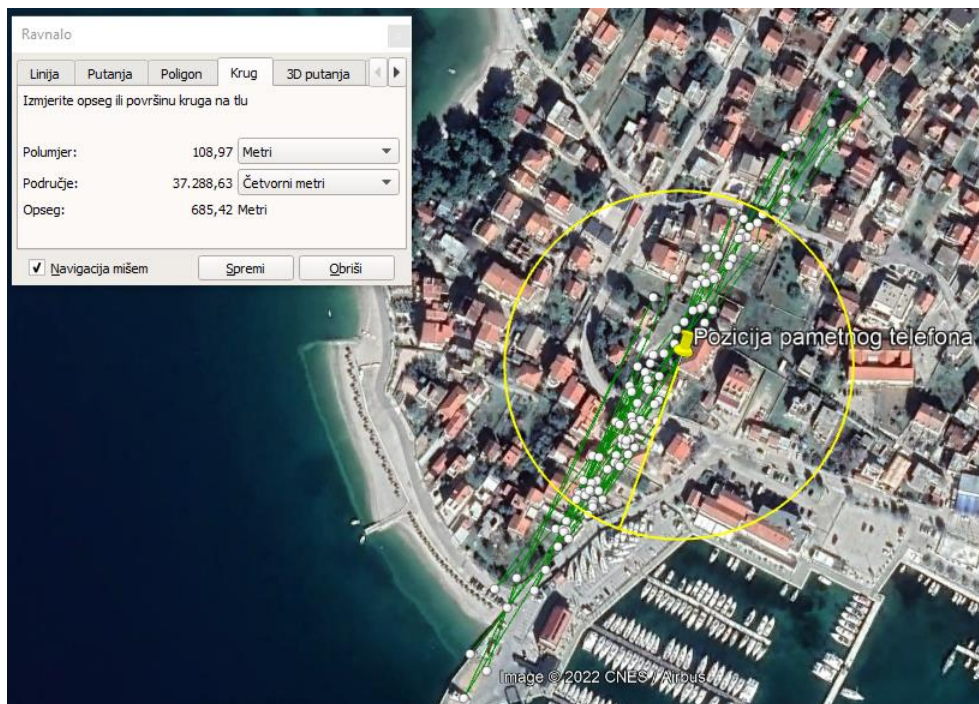
Slika 33. Zaklonjena pozicija - GPS

Galileo sustav je, poput GPS-a, većinu pozicija izmjerio na parkiralištu pokraj stvarne pozicije pametnog telefona. Većina izmjerenih pozicija se nalazi unutar radijusa od 45 metara (slika 35.). Najveće odstupanje od stvarne pozicije je 76 metara.



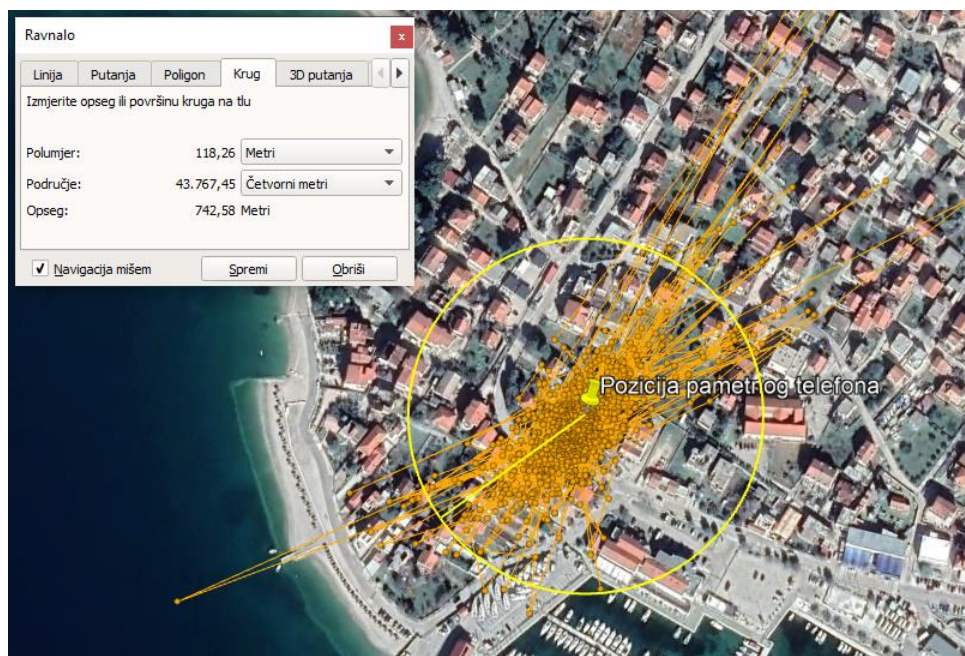
Slika 34. Zaklonjena pozicija - Galileo

Kao treći najprecizniji sustav dolazi BeiDou. Za razliku od prošla dva, kao što je već rečeno, BeiDou kao i GLONASS imaju tendenciju mjerenja pozicija uzdužnog prostiranja. Većina izmjerenih pozicija se nalazi unutar radijusa od 109 metara što je više od duplo lošije nego Galileo i čak četiri puta lošije od GPS-a. Najveće odstupanje od stvarne pozicije je 248 metara.



Slika 35. Zaklonjena pozicija - BeiDou

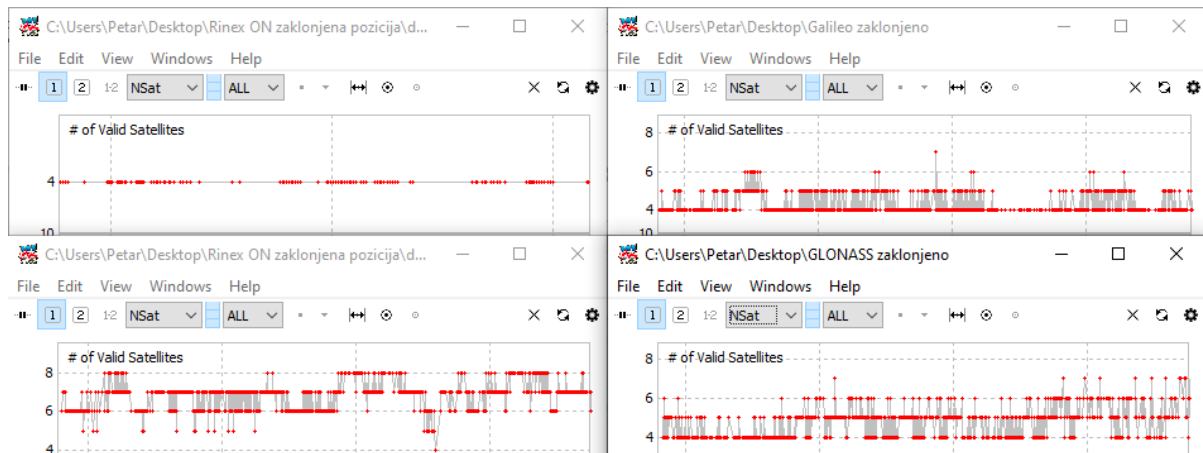
GLONASS, kao najmanje precizan sustav, je izmjerio najveći broj pozicija unutar radijusa od 118 metara što nije toliko odstupanje od BeiDou sustava. Ali što se tiče najudaljenije izmjerene pozicije, GLONASS je za gotovo duplo dalje izmjerio najudaljeniju poziciju od BeiDou sustava te je višestruko lošiji od GPS i Galileo sustava.



Slika 36. Zaklonjena pozicija – GLONASS

Na slici 38. je prikazana veza sa satelitima pojedinog sustava. Vidljivo je da je GPS (dolje lijevo) održava vezu sa najvećim brojem satelita, u prosjeku 7. Zatim je GLONASS koji održava vezu sa između 4 i 6 satelita, nakon toga Galileo sa 4 do 5 satelita i na začelju je BeiDou sa 4 satelita. Neočekivano je da GLONASS, koji je imao najgore izmjerene pozicije, ima drugu

najbolju povezanost sa satelitima. BeiDou je na trenutke gubio vezu sa satelitima tokom svakog mjerenja stoga su i pozicije u manjem broju i lošije preciznosti.



Slika 37. Prikaz broja dostupnih satelita

Iz prikazanih stacionarnih podataka na otvorenom i zaklonjenom području vidljivo je da GPS ima najveću preciznost u oba mjerenja kao i najbolju povezanost sa satelitima. BeiDou je u trenutcima prilikom testiranja pokazivao čak 10 vidljivih satelita, ali prilikom mjerenja je taj broj pao kao što je prikazano na slikama 31. i 38. Galileo sustav se pokazao kao drugi najprecizniji iako mu najduže treba da se spoji, odnosno sinkronizira sa pametnim telefonom. GLONASS sustav je proizašao kao najneprecizniji usprkos velikom broju povezanih satelita.

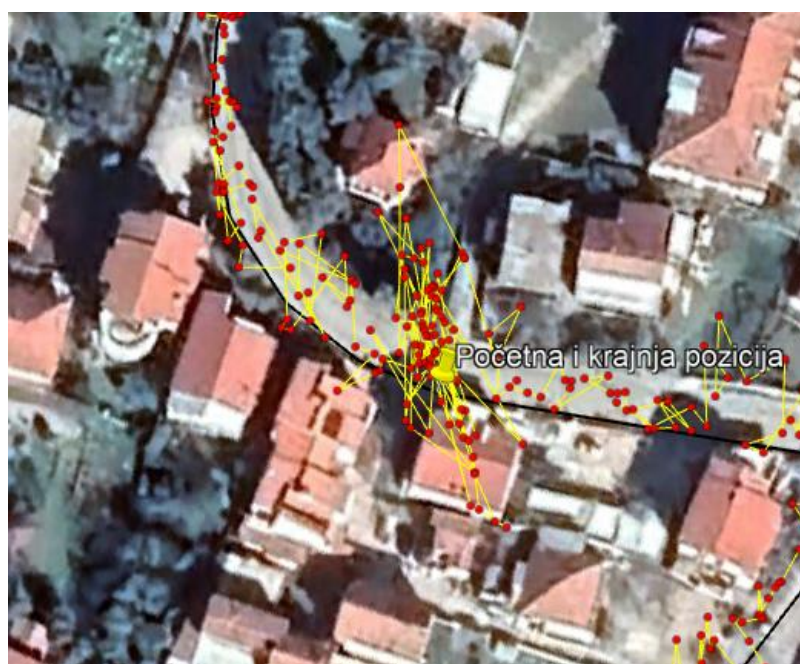
8.3. Mjerenje u pokretu

Mjerenje je vršeno u promjenjivom okruženju kako bi mogle usporediti performanse sustava na otvorenijem području, šetajući plažom, i unutar urbanog područja hodajući ulicom okruženom kućama i zgradama. Kao što je prethodno navedeno pametni telefon je bio 1 minutu prije i nakon šetanja stacionaran kako bi se početna pozicija mogla bolje odrediti.

Na slici 39. je prikazano mjerenje GPS sustava. Vidljivo je da imamo poprilično rasipanje na početnoj odnosno krajnjoj točki rute što je izazvano postavljanjem pametnog telefona blizu visoke kuće u gusto naseljenoj ulici. Na slici 40. je vidljivo da je određeni dio izmjerenih pozicija u prvoj minuti mjerenja izmjeren na drugoj strani ceste. Uzrok tome je šetanje pokraj visokih kuća što je dovelo do refleksije, odnosno odbijanja signala.



Slika 38. Ruta mjerena GPS-om



Slika 39. GPS početna točka

Potom šetamo dijelom ulice u kojem nema visokih kuća niti zgrada te su izmjerene pozicije puno bliže stvarnoj poziciji. Tokom i nakon skretanja u drugu ulicu odstupanje ostaje približno jednak kao i na dijelu bez visokih kuća. U sredini ulice prolazimo pokraj visokog hotela (prikazanog većim krugom) zbog kojeg je došlo do većeg odstupanja od stvarne putanje (slika 41.). Zatim pri skretanju prema plaži prolazimo između kioska i terase restorana što je dovelo do odstupanja od putanje. Također pri šetanju uz obalu dolazi do gubitka kratkoročnog gubitka signala (manji krug) i povećanja prosječnog odstupanja zbog blizine vode koja pomaže rasipanju signala.



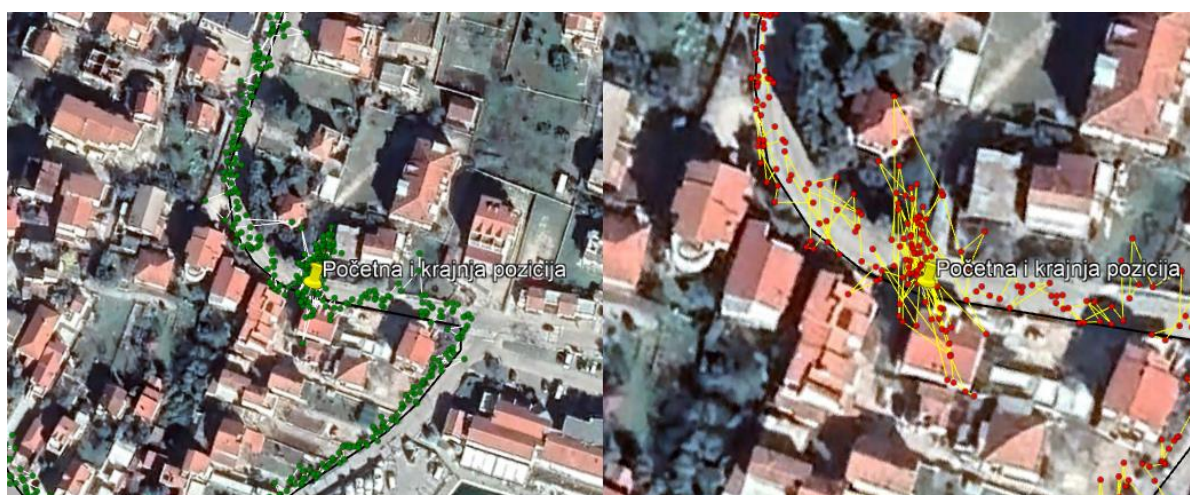
Slika 40. Prolazak pokraj hotela

Na slici 42. je vidljivo da nakon udaljavanja od vode preciznost mjerenja se višestruko povećava. Odstupanja od rute su unutar 1 m i zadržano je na toj razini do prvog skretanja kada se preciznost smanjuje zbog promjene smjera kretanja. Na zadnjoj etapi smo ušli u ulicu koja prolazi pokraj metalne ograde od marine te je vidljiva degradacija preciznosti. Ponovnim ulaskom u gušće naseljeno područje nakon zadnjeg skretanja također vidimo dodatnu degradaciju signala.



Slika 41. Druga polovica rute

Galileo sustav (zeleni) je na početnoj, odnosno krajnjoj poziciji dao preciznije rezultate od GPS-a (crveni) kao što je vidljivo na slici 43. Izmjerene pozicije su više grupirane i u prosjeku manjeg odstupanja od onih koje su mjerene GPS-om.



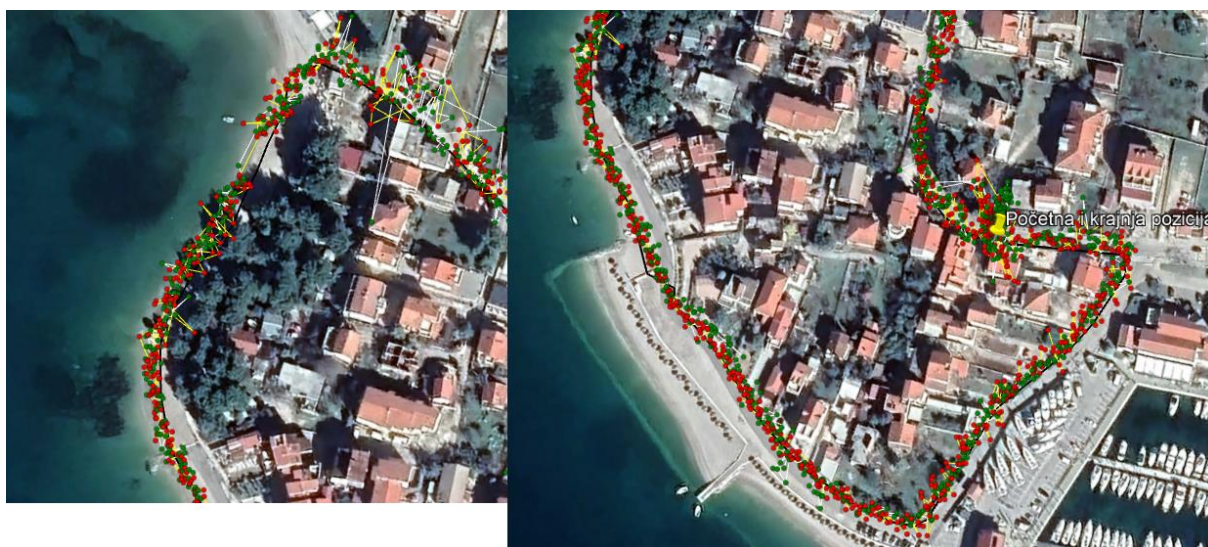
Slika 42. Početna i krajnja pozicija - GPS i Galileo

Nadalje, Galileo je u prvoj fazi imao slična odstupanja kao GPS sve do hotela gdje je Galileo izmjerio najdalju poziciju koja se nalazi 48,5 metara od rute, dok je GPS izmjerio najdalju poziciju 20 metara udaljenu od rute (slika 43.).



Slika 43. Hotel - GPS i Galileo

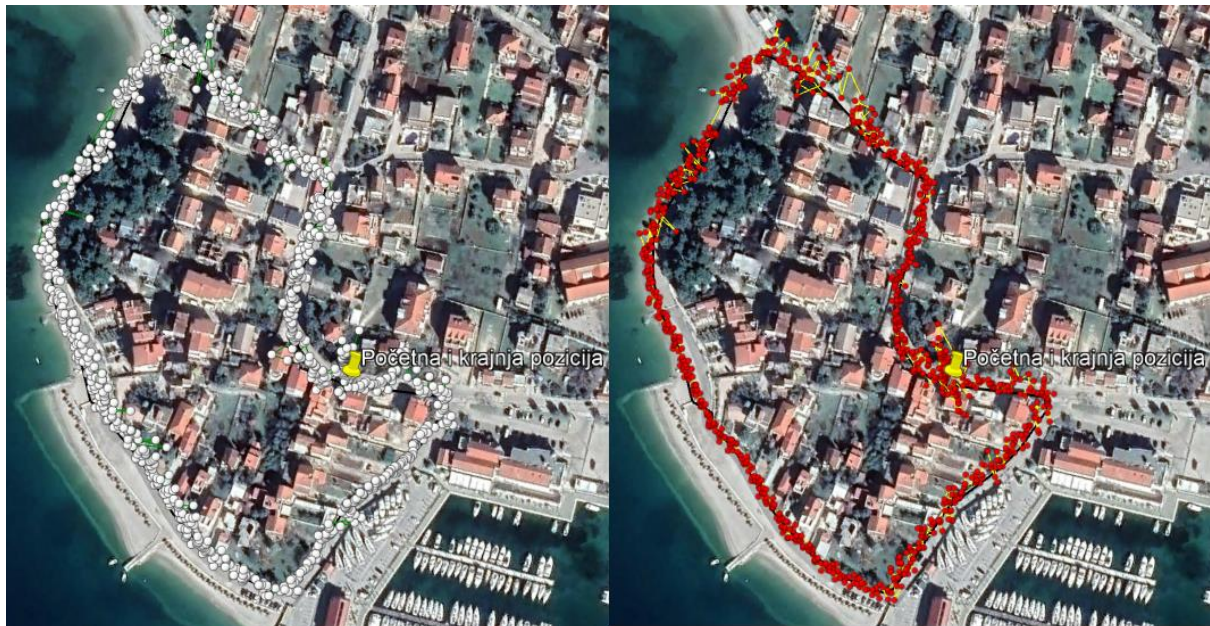
Šetajući obalom Galileo se pokazao preciznijim u odnosu na GPS, iako je i Galileo sustav doživio gubitak signala na istoj poziciji koja je već bila zamijećena kod GPS-a. Maknuvši se od obale Galileo sustav je minimalno povećao preciznost za razliku od GPS-a što je dovelo do manje preciznosti od tog trenutka sve do krajnje točke rute (slika 45.)



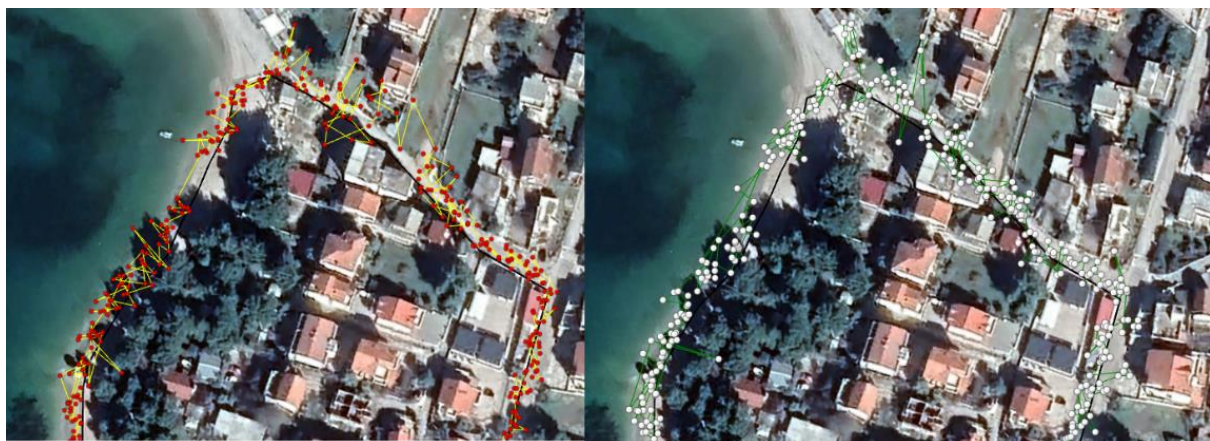
Slika 44. Druga polovica rute - GPS i Galileo

BeiDou sustav (bijeli), uspoređujući ga s prošla dva, je izmjerio pozicije približne udaljenosti kao prošla dva sustava. Na većini etape je davao lošije rezultate (slika 46.), osim tik uz hotel (slika 47.) gdje su odstupanja bila maksimalno 6 metara od rute (GPS 21 metar) i pokraj marine gdje je metalna ograda. Na mjestima gdje su prošla dva sustava imala najveća

odstupanja, BeiDou je održao veću preciznost, ali gledajući cijelu rutu generalno je davao nepreciznije podatke.

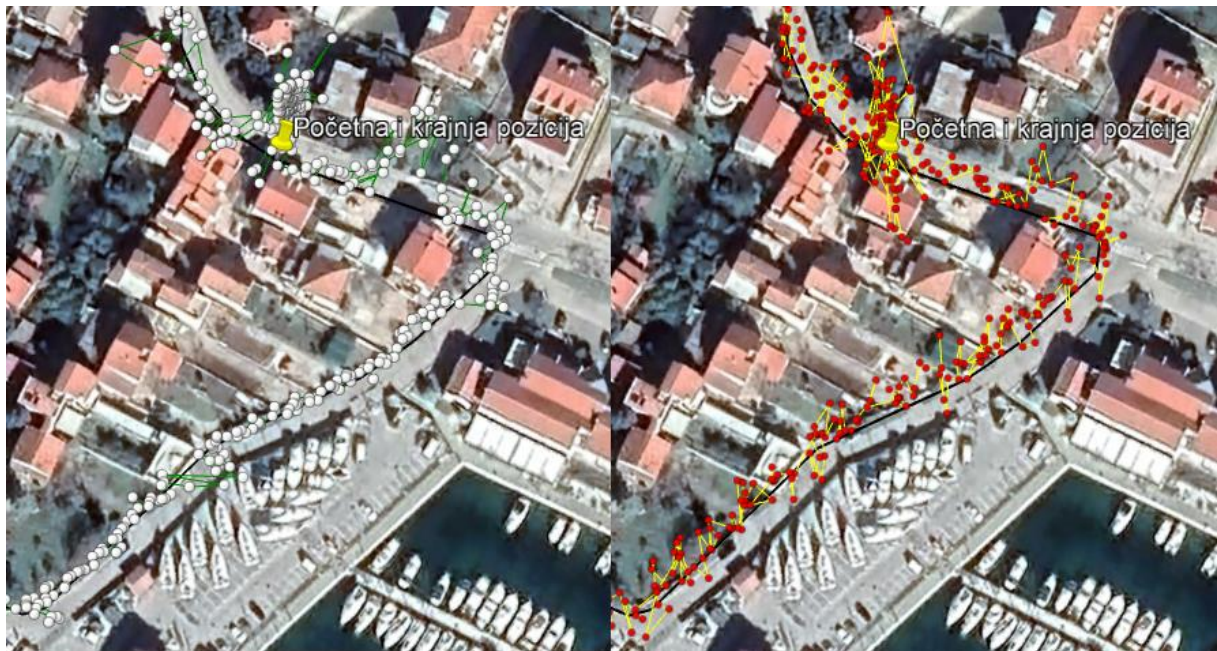


Slika 45. Cijela ruta - BeiDou i GPS



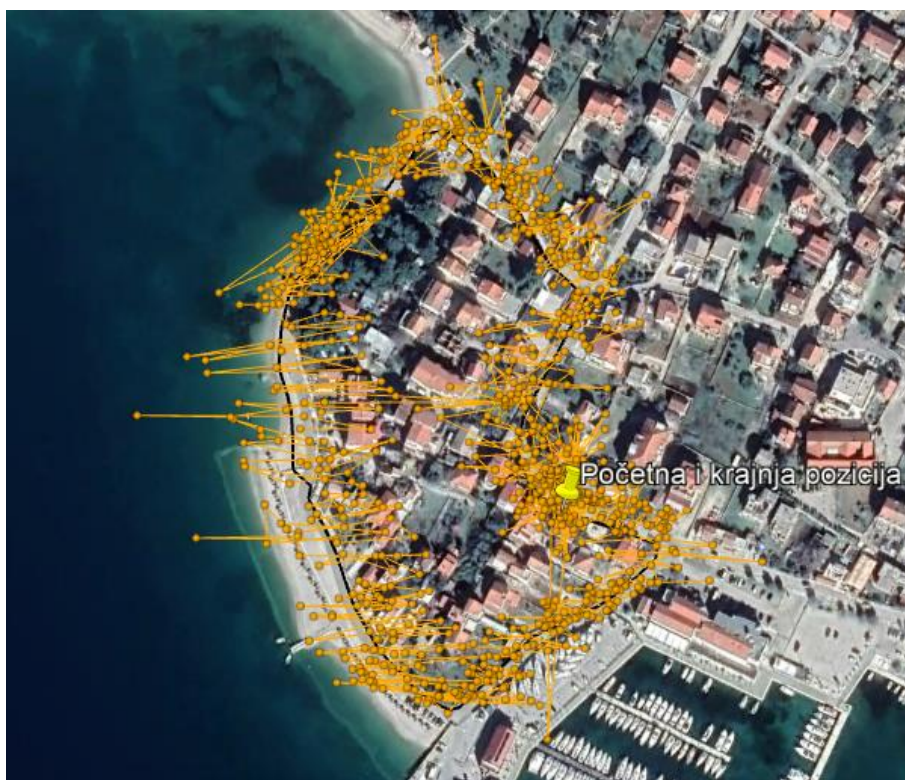
Slika 46. Najveća odstupanja - GPS i BeiDou

Na zadnjoj četvrtini rute BeiDou je bio najprecizniji sustav, uz prosjek odstupanja od 2,5 metara dok GPS kao najprecizniji sustav na zadnjoj etapi ima prosjek odstupanja od 4 metra (slika 48.).



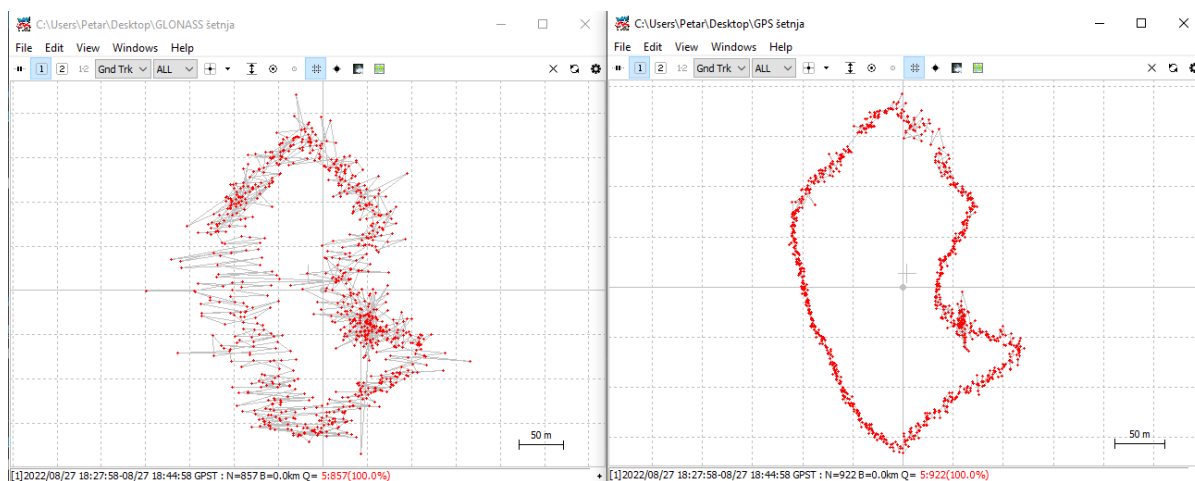
Slika 47. Zadnja četvrtina rute - BeiDou i GPS

GLONASS sustav je daleko najneprecizniji sustav koji je mjereno, na svakom dijelu etape prosječna odstupanja su bila preko 10 metara (slika 49.), dok su najveća odstupanja zabilježena šetajući obalom, izmjenjujući stranu u kojoj nastaje greška nakon svake pozicije. Početna odnosno krajnja pozicija je izmjerena u radijusu od 62 metra, dok su ostali sustavi bili unutar radijusa od 34 metra (BeiDou pozicija). Na slici je također zamijećeno da je GLONASS jedini sustav koji nije imao gubitak veze sa satelitom pri početku šetanja obalom. Isto tako je moguće da je jedna od pozicija zabilježena na tome mjestu te izgleda da sustav nije izgubio vezu. Također pri prolasku hotela prosječna odstupanja od rute su se smanjila, dok su se kod GPS i Galileo sustava povećala



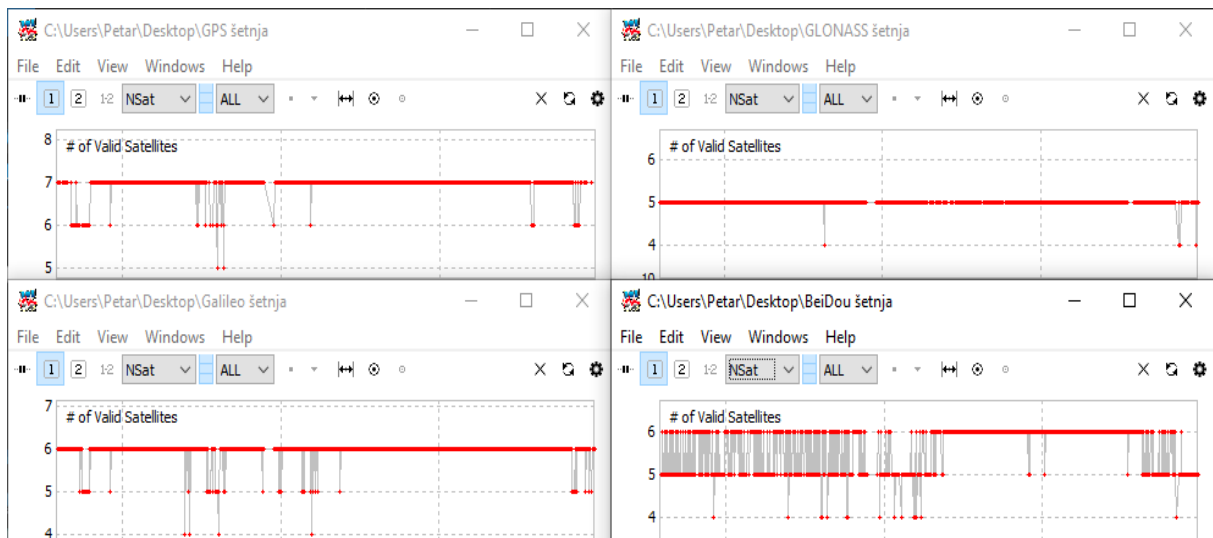
Slika 48. Ruta - GLONASS

Kako bi se bolje predočila razlika u preciznosti, na slici 50. je prikazana razlika između GPS (desno) kao najpreciznijeg sustava i GLONASS (lijevo) kao najnepreciznijeg u programu RTKplot. Sa slike je vidljivo da je GLONASS sustav ne može kvalitetno i pouzdano izmjeriti poziciju u pokretu.



Slika 49. RTKplot - GPS i GLONASS

Na slici 51. je prikazano sa koliko satelita je pojedini sustav bio povezan tokom mjerenja. Vidljivo je da je GPS imao najbolju povezanost, većinu vremena održavajući povezanost sa 7 satelita te u dva navrata padajući na 5 satelita. Potom dolazi Galileo sustav održavajući vezu sa 6 satelita u prosjeku, a u 3 navrata je taj broj pao na 4 satelita. BeiDou sustav je kontinuirano održavao vezu sa 5 ili 6 satelita, ali se taj broj u nekoliko trenutaka spustio na 4 satelita. GLONASS je gotovo cijelo vrijeme bio povezan sa 5 satelita, padajući na 4 u par trenutaka.



Slika 50. Prikaz broja satelita tokom šetnje

9. Zaključak

Globalni satelitski navigacijski sustavi su postali svakodnevno korišteni i iznimno je važno da pružaju visoki stupanj preciznosti i da su pouzdani.

Kako bi mogli testirati njihovu preciznost i pouzdanost koristili smo aplikacije Geo++ RINEX Logger, RINEX On i RTKlib. Prve dvije aplikacije su služile za prikupljanje podataka, dok je treća služila za obradu. Sve tri aplikacije se, uz pomoć interneta, poprilično lako nauče koristiti na razini koja je potrebna kako bi se ovakav način mjerenja i obrade podataka mogao obaviti.

Iz prikupljenih i analiziranih podataka vidljivo je da je GPS sustav najprecizniji u svakoj od 3 situacije u kojima smo vršili mjerenje te je imao najbolju povezanost sa satelitima. Galileo sustav je po preciznosti drugi na ljestvici, ali što se tiče povezanosti sa satelitima dijeli treće mjesto sa BeiDou sustavom. BeiDou sustav je po preciznosti iza navedenih sustava, dok je po prosjeku vidljivih satelita na prvom mjestu. Nažalost nije se uspijevaio povezati sa svim satelitima što je dovelo do manjeg broja satelita korištenih za mjerenje od GPS-a i podjednakim sa Galileo sustavom. Na začelje dolazi GLONASS sustav koji je uvjerljivo davao najnepreciznije mjerenje iako je imao bolju povezanost sa satelitima od Galileo i BeiDou sustava.

U ovom mjerenju nisu korištene korekcije za efemeride sustava i meteorološke situacije u kojima su se provodila mjerenja niti je korišten CROPOS sustav (CROatian POsitionin System) za smanjenje pogreške mjerene pozicije.

Svaki od trenutnih sustava, što se tiče pouzdanosti, je moguće koristiti za navigaciju, neki uz veću preciznost neki uz manju. Nakon uspoređivanja GPS sustav je proizašao kao najprecizniji i najpouzdaniji sustav za korištenje, što i nije tako neobično pošto je sustav koji je najduže u upotrebi te koji je doživio najveći broj unapređenja kroz brojne godine korištenja. Također, u današnje pametne telefone se ugrađuju sve bolji prijamnici koji također povećavaju preciznost određivanja pozicije.

Bibliografija

- [1] Dalibor Brozović, August Kovačec, Slaven Ravlić. *Hrvatska enciklopedija*. Zagreb: Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2009.
- [2] Novak, Doris. *Zrakoplovna prostorna navigacija*. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti, 2015.
- [3] EUSPA. »What is GNSS?« 29. 8. 2017. <https://www.euspa.europa.eu/european-space/eu-space-programme/what-gnss> (pokušaj pristupa 24. Srpanj 2022.)
- [4] Tomislav Kos, Mislav Grgić, Srećko Krile. »Hiperbolni i satelitski sustavi za navigaciju.« *Brodarstvo i navigacija*, 9.. 12. 2004. str: 189-199
- [5] National Coordination Office for Space-Based Positioning. »Space segment.« *GPS.gov*. 22. 6. 2022. <https://www.gps.gov/systems/gps/space/> (pokušaj pristupa 4. 8. 2022.)
- [6] Novak, Doris. *Zrakoplovna računska navigacija*. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti, 2012.
- [7] European Space Agency. *GLONASS General Introduction*. 22. 6. 2018. https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GLONASS_General_Introduction (pokušaj pristupa 28. 7. 2022.)
- [8] European Space Agency. *GLONASS User Segment*. 29. 6. 2018. https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GLONASS_User_Segment (pokušaj pristupa 28. 7. 2022.)
- [9] European Space Agency. *Galileo Space Segment*. 22. 7. 2022. https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Galileo_Space_Segment (pokušaj pristupa 28. 7. 2022.)
- [10] European Space Agency. *Galileo Ground Segment*. 18. 3. 2022. https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Galileo_Ground_Segment (pokušaj pristupa 28. 7. 2022.)
- [11] The State Council Information Office of the People's Republic of China. »China's BeiDou Navigation Satellite System.« 6. 2016. <http://en.beidou.gov.cn/SYSTEMS/WhitePaper/201806/P020180608507822432019.pdf> (pokušaj pristupa 7. 8. 2022.)
- [12] Center of China Satellite Navigation Office. »BeiDou Navigation Satellite System.« *CSNO-TARC* <http://www.csno-tarc.cn/en/system/introduction> (pokušaj pristupa 7. 8. 2022.)
- [13] GIS Resources. *RINEX - Receiven Independent Exchange Format*. 22. 8. 2014. <http://gisresources.com/rinex-receiver-independent-exchange-format/> (pokušaj pristupa 7. 8. 2022.)
- [14] T. Takasu. *RTKLIB: An Open Source Program Package for GNSS Positioning*. <https://rtklib.com/> (pokušaj pristupa 7. 8. 2022.)
- [15] T. Takasu. »RTKlib manual.« 29. 4. 2013. https://www.rtklib.com/prog/manual_2.4.2.pdf (pokušaj pristupa 25. 7. 2022.)

Popis slika

Slika 1. Prikaz orbita satelitskih ustava.....	3
Slika 2. Položaj orbita GPS satelita.....	4
Slika 3. Zemaljska infrastruktura GPS sustava	5
Slika 4. Položaj orbita GLONASS satelita.....	6
Slika 5. Zemaljski segment GLONASS sustava	7
Slika 6. Položaj orbita Galileo satelita	8
Slika 7. Zemaljski segment Galileo sustava.....	9
Slika 8. Položaj orbita BeiDou satelita.....	10
Slika 9. Izgled RINEX datoteke	12
Slika 10. Funkcije RTKlib programa	13
Slika 11. Prikaz izgleda programa RTKplot.....	13
Slika 12. Prikaz izgleda programa RTKconv	14
Slika 13. Prikaz izgleda programa RTKpost	14
Slika 14. Prikaz izgleda programa RTKnavi.....	15
Slika 15. Prikaz izgleda programa RTKget.....	15
Slika 16. Prikaz modova Geo++ RINEX Logger aplikacije	16
Slika 17. Prikaz sučelja Rinex ON aplikacije.....	17
Slika 18. Bazna stanica u Medici	17
Slika 19. Podaci bazne stanice	18
Slika 20. Mjerenje stacionarne pozicije na otvorenom prostoru	19
Slika 21. Mjerenje zaklonjene pozicije	20
Slika 22. Ruta za mjerenje u pokretu.....	20
Slika 23. RTKpost sučelje	21
Slika 24. Odabir satelitskog sustava.....	22
Slika 25. Rezultati sva četiri sustava	23
Slika 26. Radijus GPS-a.....	24
Slika 27. Radijus Galileo.....	24
Slika 28. Radijus BeiDou	25
Slika 29. Radijus GLONASS	25
Slika 30. Prikaz povezanosti aplikacije sa satelitima	26
Slika 31. Zaklonjena pozicija za mjerenje.....	27
Slika 32. Mjerenje zaklonjene pozicije	27
Slika 33. Zaklonjena pozicija - GPS.....	28
Slika 34. Zaklonjena pozicija - Galileo	28
Slika 35. Zaklonjena pozicija - BeiDou	29
Slika 36. Zaklonjena pozicija – GLONASS.....	29
Slika 37. Prikaz broja dostupnih satelita	30
Slika 38. Ruta mjerena GPS-om.....	31
Slika 39. GPS početna točka	31
Slika 40. Prolazak pokraj hotela.....	32
Slika 41. Druga polovica rute.....	33
Slika 42. Početna i krajnja pozicija - GPS i Galileo.....	33
Slika 43. Hotel - GPS i Galileo	34
Slika 44. Druga polovica rute - GPS i Galileo	34
Slika 45. Cijela ruta - BeiDou i GPS.....	35
Slika 46. Najveća odstupanja - GPS i BeiDou	35
Slika 47. Zadnja četvrtina rute - BeiDou i GPS	36
Slika 48. Ruta - GLONASS	37
Slika 49. RTKplot - GPS i GLONASS	37
Slika 50. Prikaz broja satelita tokom šetnje.....	38

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je _____ završni rad _____
(vrsta rada)

isključivo rezultat mogega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog/diplomskog rada pod naslovom Usporedba performansi globalnih satelitskih navigacijskih sustava, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student/ica:

U Zagrebu, 9.9.2022.

PETAR GREGORVIĆ, *ggrc*

(ime i prezime, *potpis*)